

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Dritter Band.

E.

Mit Kupfertafeln I bis XVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.

Physikalisches Wörterbuch

III. Band.

E.



E.

Ebbe und Fluth.

Fluxus et refluxus maris; le flux et le reflux de la mer; *ebb and flow, tides;* heifst das abwechselnde, alle Tage zweimal regelmäfsig wiederkehrende Sinken und Steigen des Wassers in den grofsen Meeren. Die Namen *aestus maris,* les marées, *the tides* bezeichnen dieses ganze Phänomen, statt dafs Fluth (*accessus maris,* le flux, *flow or flux*) das Steigen des Wassers, Ebbe (*recessus maris,* le reflux, *ebb or reflux*) das darauf folgende Sinken des Wassers bezeichnet. Wenn die Fluth ihr Ende erreicht hat, so ist es *volle Fluth, hohes Wasser* (haute mer, *high water*), und sobald das Wasser zu fallen anfängt, ist es Ebbe, die sich endigt, wenn das Wasser am niedrigsten steht, die *tiefste Ebbe, das niedrigste Wasser* (la basse mer, *low water*), eingetreten ist.

Genauere Beschreibung der Erscheinungen.

1. Wenn man sich am Meeres-Ufer befindet und die Beobachtung gerade um die Zeit anfängt, wo es volle Fluth ist, so bemerkt man eine kurze Zeit keine Aenderung des Wasserstandes. Aber dieser völlige Ruhestand ist nur von sehr kurzer Dauer, und bald bemerkt man, dafs das Wasser ein wenig sinkt, dafs die Wellen da, wo sie an einem flach sich erhebenden Ufer herauf laufen, nicht ganz mehr den Punct erreichen, bis zu welchem sie so eben noch gelangten, und dafs Gegenstände, die im tiefen Wasser stehen, nach und nach höher aus dem Wasser hervorragen. Dieses zuerst unbedeutende und langsame Sinken des Wassers wird allmählig schneller, so dafs etwa 3 Stunden nach dem höchsten Wasser das Fallen am schnellsten

ist; nachher vermindert sich die Schnelligkeit des Sinkens, und nachdem die Ebbe reichlich 6 Stunden gedauert hat, hört das nach und nach unmerklich werdende, Sinken des Wassers ganz auf. Unterdeſs sind überall die zuerst nicht sehr tief mit Wasser bedeckten Gegenden ganz vom Wasser entblöſst worden, so daſs, zum Beispiel am deutschen Ufer der Nordsee, Pfäle, die bei hohem Wasser nur wenig aus dem Wasser hervorragten, nun 12 Fuſs und darüber oberhalb desselben sichtbar sind; daſs flache Sände, über welchen man vorhin ansehnliche Schiffe mit vollen Segeln sich fortbewegen sah, nun trocken da liegen, und einen für Wagen und Fuſsgänger brauchbaren Raum darbieten. Aber nur wenige Minuten dauert diese tiefste Ebbe; die Fluth kehrt wieder und ihr allmählig schnelleres und nachher wieder minderes Steigen befolgt ungefähr eben die Gesetze, die wir vorhin beim Sinken bemerkten; die vom Wasser entblöſsten Gegenstände werden wieder davon überströmt, und nach einer Zeit von etwas mehr als 12 Stunden hat sich der Zustand, den wir zu Anfange beobachteten, wieder hergestellt, und dem nun wieder eingetretenen höchsten Wasser folgen dieselben Erscheinungen in unaufhörlich wechselnder regelmäſsiger Folge.

Die *Tiefe*, bis zu welcher das Wasser, von seinem höchsten Stande an, fällt, ist nicht an allen Orten, auch nicht an jedem Tage für denselben Ort gleich. An den Nordsee-Ufern Deutschlands beträgt der Unterschied der gewöhnlichen Ebbe und Fluth 12 Fuſs in andern Gegenden ist er geringer, in andern auch gröſser und zum Beispiel am westlichen Ende des Canals beträgt die gesammte Fluthhöhe gegen 40 Fuſs, statt daſs sie auf den Südsee-Inseln kaum einige Fuſse steigt.

2. Die *Wechsel* der Fluth und Ebbe kehren täglich zweimal regelmäſsig wieder; aber nicht genau zu derselben Stunde, sondern so, daſs die volle Fluth an jedem folgenden Tage etwa um 50 Minuten später erfolgt, und alle andern Erscheinungen sich eben so verspäten; erst nach 14 Tagen kommt die Fluth wieder auf dieselbe Tagesstunde zurück, und man bemerkt, daſs sehr genau die Zeit der Fluth am Tage des Neumondes und Vollmondes dieselbe ist, und also die Zeit ihres Eintretens mit der Stellung des Mondes zusammenhängt. Diese Bemerkung läſst sich selbst von einem Tage zum andern machen, da auch der Durchgang des Mondes durch den Meridian sich täglich um etwa 50 Minuten verspätet, und daher mit dem Erscheinen des

Mondes im Meridian sehr nahe alle Tage eben der Zustand des Steigens oder Sinkens zusammentrifft.

Die *Periode zweier ganzer Fluthzeiten* ist also sehr nahe gleich der Zeit, die von einem Durchgange des Mondes durch den Meridian bis zum nächsten Durchgange verfliefst; indefs trifft nicht an allen Orten der Durchgang des Mondes mit dem höchsten Wasser oder nicht überall mit demselben Zustande des Steigens und Fallens zusammen; und diese Verschiedenheit scheint von den Hindernissen herzurühren, die sich der allmähligen Fortpflanzung der Fluth entgegenstellen. Am deutlichsten zeigt sich dieses in den Strömen. —

3. Was nämlich auch die Ursache der Fluth seyn mag, so erhellet doch sehr deutlich, dafs sie in den grofsen Meeren ihren eigentlichen Sitz hat, und dafs in den Strömen nur darum Fluth entsteht, weil das im Meere höher gestiegene Wasser sich entweder selbst in die Ströme hinein ergiefst, oder wenigstens das Wasser des Stromes hindert, sich ins Meer zu ergiefsen, und es daher aufstauet. Da dieses Einströmen an der Mündung anfängt, so tritt daselbst die Fluth am frühsten ein und immer später, je höher man im Strome hinaufgeht; ja es kommt oft der Fall vor, dafs diese Fluthwelle sich noch den Strom hinauf fortwälzt, wenn an der Mündung schon wieder tiefe Ebbe ist. Auf ähnliche Weise verzögert sich auch in den einzelnen Theilen der Meere die Fluth, und wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn der Mond, nach dessen Stellung doch die Fluth sich zu richten scheint, nicht an allen Orten bei seiner höchsten Stellung einen gleichen Zustand des Steigens oder Fallens bewirkt.

4. Die *Fluthhöhe* ist an demselben Orten nicht an allen Tagen gleich, sondern man bemerkt, dafs überall die Tage um den Neumond und Vollmond bedeutend höhere Fluthen haben, und dafs an eben den Tagen die Ebbe tiefer als gewöhnlich sinkt, so dafs die gesammte Fluthhöhe an diesen Tagen viel gröfser als sonst ist. Diese, allen Küstenbewohnern bekannten, höhern Fluthen heifsen *Springfluthen* (vives eaux; *spring tides*). Dagegen bemerkt man um die Zeit der Mondsviertel, dafs die Fluth weniger als sonst steigt und die Ebbe weniger sinkt, welches man an den Ufern der Nordsee, *Nippfluthen* oder *taube Fluth* (mortes eaux; *neaptides*) nennt. Da beim Neumonde der Mond nahe bei der Sonne steht, so ist es eine sehr natürliche Vermuthung, dafs die höhere Fluth durch die vereinte Wirkung

von Sonne und Mond ebenso entstehen mag, wie die gewöhnliche Fluth durch den Mond allein oder vorzüglich hervorgebracht wird. Daſs auch beim Vollmonde die Fluth höher ist, muſs offenbar aus eben den Gründen erklärt werden, von welchem die zweite Fluth, da der Mond unter dem Horizonte ist, abhängt.

5. Endlich bemerkt man noch eine Ungleichheit in den Fluthen, je nachdem der Mond in seiner Erdnähe oder Erdferne ist, indem bei sonst gleichen Umständen die Fluthen zur Zeit der Erdnähe höher sind, bei der Erdferne geringer. Aus diesem Grunde sind die Springfluthen am höchsten, wenn Neumond und Erdnähe des Mondes oder Vollmond und Erdnähe des Mondes zusammentreffen, und die Nippfluthen sind am geringsten, wenn das Mondesviertel mit der Erdferne zusammen trifft.

6. Diese Erscheinungen, über deren genauere Umstände im Einzelnen vieljährige und genaue Beobachtungen noch mehrere Bestimmungen ergeben, sind hier so beschrieben, wie sie bei stillem Wetter eintreten und wie sie sich als der allgemeine Gang der Erscheinungen dem ungelehrten aber aufmerksamen Beobachter zeigen. Stürme bringen so groſse Verschiedenheiten hervor, daſs durch sie die Fluthen hoch und gefährlich werden können, selbst wenn sie nach den übrigen Umständen unbedeutend seyn sollten, wie wir in der Folge sehen werden.

Auch für das Steigen und Sinken jeder einzelnen Fluth läſst sich, obgleich auch da Winde und zufällige Umstände Aenderungen hervorbringen, eine Regel angeben, die für das offene Meer sehr nahe richtig ist. Laplace[1] drückt sie so aus: Wir wollen uns einen verticalen Kreis denken, dessen Umfang so in Stunden und Minuten getheilt ist, daſs der ganze Umfang die Zeit einer ganzen Fluth und Ebbe darstelle; hat dann der Durchmesser die Gröſse der ganzen Fluthhöhe, und zählt man die Theile des Umfangs vom tiefsten Puncte an, so schneidet jede durch einen Theilungspunct des Umfangs gezogne horizontale Linie auf dem Vertical-Durchmesser die Höhe ab, bis zu welcher das Wasser gestiegen ist, wenn die bis zu jenem Umfangspuncte gezählten Stunden und Minuten seit der tiefsten Ebbe verflossen sind. Nach diesem Gesetze, wo die Höhen sich wie die Sinus vers. der Zeiten verhalten, würde also, wenn man die ganze Zeit des Wachsens auf 6 Stunden 12 Minuten

1 Exposit. du syst. du monde. Livre. 4. chap. 10.

= 372 Min. setzt, und die gesammte Fluthhöhe = 12 Fuſs, zu jeder Zeit = t, die seit dem tiefsten Wasser verflossen ist, die Höhe $= 6 \text{ Sin. vers. } \frac{t. 180°}{372}$ seyn, also zum Beispiel für die ersten 31 Minuten, die Höhe sich um 0,2 Fuſs, dagegen in der Mitte zwischen dem höchsten und tiefsten Wasser etwa 1,6 Fuſs in eben der Zeit ändern. Aber auch dieses Gesetz gilt nicht ganz gleichförmig für alle Orte, und man bemerkt zum Beispiel zu Anfang der Ebbe am Ufer noch kaum ein Sinken des Wassers, wenn es im Freien schon ziemlich erheblich gesunken ist. Damit hängt auch der Wechsel des *Fluth* – und *Ebbestromes* zusammen, den man vorzüglich in den Mündungen der Flüsse bemerkt; der Wechsel dieses Stromes tritt später ein als der Wechsel des Steigens und Fallens; denn erst, wenn das Wasser vor der Mündung bedeutend gestiegen ist, kann es den Ebbestrom überwältigen und in Fluthstrom verwandeln, und so umgekehrt. Nach Woltmann's Bemerkung kann jener Unterschied über 1 Stunde betragen[1].

7. Endlich gehört hieher noch die Bemerkung, daſs nur in groſsen Meeren die Fluth statt findet, daſs sie in den kleinern nur durch ihre Verbindung mit jenen hervorgebracht wird, und daſs es in ganz oder beinahe ganz von Land umgebenen kleinern Meeren, wie das caspische Meer und die Ostsee, gar keine Fluth und Ebbe giebt.

In die Nordsee tritt sie theils vom nördlichen Schottland her, theils durch den Canal ein, und eben die Fluth, welche um 12 Uhr in Buchanneſs (an der nordöstlichen Seite Schottlands) hohes Wasser macht, bringt vor dem Humber 6 Stunden später, bei Yarmouth 9½ Stunde später, vor der Themse und so auch an den holländischen und deutschen Küsten 12 Stunden später Hochwasser; an den letzteren Orten vereinigt sich damit die durch den Canal kommende Fluth, die (wenn man eben die Tage nimmt) bei Brest um 3½ Uhr, bei Havre um 9 Uhr, bei Ostende um 12 Uhr höchstes Wasser macht, und hier mit jener zusammen trifft [2].

Bei diesem Fortrücken der Fluth muſs ich doch noch bemerken, daſs man Unrecht haben würde, wenn man sich die

1 Handbuch der Schifffahrtskunde, zum Gebrauch für Navigationsschulen etc. Hamburg. 1819. S. 376.

2 Woltmann am ang. O. S. 378.

Fluth als einen mit grofser Schnelligkeit fortgehenden Stron denken, oder gar glauben wollte, das Seewasser müsse i nicht völlig 25 Stunden einen Umlauf um die ganze Erde machen. So wenig bei der Wellenbewegung die Wassertheilchen so schnell fortgeführt werden, als die Wellenköpfe anscheinend fortlaufen, eben so wenig darf man annehmen, dafs dieselben Wassertheilchen die Fluthwelle begleiten. Auf eine ganz mit Wasser bedeckten Erde würde die Fortbewegung seitwärts bei den bald gehobenen, bald sinkenden Wassertheilchen ganz unbedeutend seyn; bei der wirklichen Beschaffenheit de Meere findet dagegen allerdings an vielen Orten ein merkliche Fluth- und Ebbestrom statt, so wie er offenbar beim Einstur in die Ströme statt finden mufs.

Meinungen über die Ursache der Ebbe und Fluth

8. Die Griechen und Römer hatten an der Küste des Mittelländischen Meeres wenig Gelegenheit die Erscheinungen de Fluth in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, doch erwähnt schon Herodot die Fluth im rothen Meere. Es ist daher wohl ganz dem Mangel an Kunde von diesen Erscheinungen angemessen, was Curtius von der Ueberraschung un Verlegenheit erzählt, in welche Alexander, als er in das Indische Meer schiffen wollte, sich durch den unerwarteten un starken Wechsel von Fluth und Ebbe gestürzt fand[1].

Selbst Caesar war noch von den Ungleichheiten der Fluth und Ebbe nicht hinreichend unterrichtet, und erlitt daher einen bedeutenden Verlust, als die Vollmondsfluthen, deren höheres Steigen ihm unbekannt war, seine aufs Trockne gezognen Schiffe am Ufer Britanniens erreichten und beschädigten[2] Dagegen spricht Tacitus schon von den gewöhnlich höher anschwellenden Aequinoctialfluthen als von etwas Bekanntem[3]

Am besten unter den alten Schriftstellern scheint Strabo die Erscheinungen der Ebbe und Fluth dargestellt zu haben welcher sie so beschreibt, wie sie nach Posidonius Erzählung in Cadix beobachtet werden. Hier[4] werden die täglich

---

1 Curtius de rebus gestis Alex. IX. 9.
2 De bello Gall. IV. 29.
3 Annal. I. 70.
4 Strabonis res geographicae Lib. III. gegen das Ende.

zweimal eintretenden Fluthen und die höheren Neumonds- und Vollmondsfluthen ganz richtig erwähnt, die Zeit der Fluth in Cadix angegeben u. s. w. Posidonius irrte nur darin, daſs er nach der Erzählung der Einwohner die Solstitialfluthen für höher als die Aequinoctialfluthen hielt. Plinius erzählt auch Mehreres die Fluth betreffendes ganz richtig [1], und bemerkt einige von Pytheas schon gemachte Beobachtungen [2]. Seneca [3] und Macrobius [4] sind in Beziehung auf dieses Phänomen sehr dürftig.

Was die Alten zur Erklärung der Erscheinung sagen, ist meistens unbedeutend. Nach dem, was sich in einem dem Plutarch zugeschriebenen Buche findet, soll Pytheas gesagt haben, das Meer fluthe bei zunehmendem Monde und falle bei abnehmendem Monde [5]. Aristoteles bemerkt, daſs sich die Fluth nach dem Monde richte. Plinius sieht Sonne und Mond als die Ursache der Fluth und Ebbe an und sagt, das Wasser bewege sich, dem Gestirne, welches das Meer an sich ziehe, Folge leistend. Posidonius hatte sehr richtig gesagt, das Meer zeige drei den himmlischen Bewegungen ähnliche Perioden, nämlich eine tägliche, eine monatliche und eine jährliche, indem die Fluthen zweimal täglich, stärkere Fluthen zweimal monatlich und auch bei den Solstitien jährlich stärkere Fluthen wiederkehrten; Strabo scheint aber nicht ganz in diese Meinung einzustimmen.

9. Etwas tiefer eindringende Erklärungen suchten die spätern Naturforscher zu geben, als nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften, auch die Naturkunde mit mehr Fleiſs betrieben wurde. Galilaei [6] glaubte, die tägliche und jährliche Bewegung der Erde sey Ursache der Ebbe und Fluth. Er glaubt, da die wahre Bewegung eines Theilchens an der Erdoberfläche bei Tage etwas langsamer, bei Nacht etwas schneller

---

1 Hist. natural. II. 97.

2 Aber weder bei ihm, noch sonst wo kann ich finden, was in Robison system of mechan. philos. III. p. 307. behauptet wird, daſs Pytheas schon fast alle bis auf Newton's Zeiten bekannte Erscheinungen richtig angegeben habe.

3 Quaest. natural. III. 28.

4 Somnium Scip. I. 6.

5 Placita philosoph. III. 17. Aristoteles de mundo. 4. Strabonis geogr. III. 3.

6 Dialogus de syst. mundi. Aug. Treboc. 1635. p. 424.

sey, so müsse das Wasser in den grofsen Meeren bei Nacht etwas hinter den Ufern zurückbleiben, und sich an den westlichen Küsten erhöhen, bei Tage etwas voreilen und an den östlichen Küsten steigen. Da sich daraus die zweimal in 24 Stunden entstehende Fluth nicht erklären läfst, so nimmt er noch andere Voraussetzungen zu Hülfe, die ich hier nicht umständlich erwähnen will.

Cartesius[1] erklärte auch die Ebbe und Fluth so wie die Bewegungen der Planeten aus Wirbeln. Da nach seiner Meinung der Mond sowohl als die Erde mit einem Wirbel umgeben seyn sollte, so kämen diese beiden Wirbel da, wo sie zwischen Erde und Mond durchgehen sollten, ins Gedränge und brächten einen Druck hervor, welchem das Meer ausweichen müfste. Indem so in der Mitte des Meeres das Wasser weggedrängt würde, müsse es, glaubte er, gegen die Ufer steigen und hier Fluth bewirken. — Gegen diese Hypothese spricht ganz entscheidend die Erfahrung, dafs gar nicht blofs am Ufer, sondern eben so gut in der Mitte der grofsen Meere zu der Zeit, wo der Mond ihnen ungefähr im Zenith steht, ein Hōhersteigen beobachtet wird; — und es ist daher kaum nöthig zu bemerken, dafs auch die zweite Fluth, während der Mond unter dem Horizont ist, sich nicht so erklären läfst.

Wallis[2] versuchte eine Erklärung, die sich an die von Galilaei anschliefst, aber den Umstand als besonders wichtig darstellt, dafs es nicht eigentlich der Mittelpunct der Erde, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunct des Mondes und der Erde ist, welcher einen regelmäfsigen Kreislauf um die Sonne macht. Wenn man hierauf Rücksicht nehme, bemerkt er, so sey der Mittelpunct der Erde bald innerhalb, bald aufserhalb der Bahn, welche jener Schwerpunct durch läuft, und daraus müfsten solche wechselnde Bewegungen des Wassers entstehen.

10. Wichtiger und der richtigen Erklärung näher, oder diese vielmehr schon, wenn gleich unentwickelt, andeutend sind Kepler's Aeufserungen über die Ebbe und Fluth[3]. Er legte den Weltkörpern eine gegenseitige Anziehung bei, und

1 Principia philos. Pars 4. Propos. 49.

2 Wallisii opera Tom. II. p. 737.

3 Astronomia nova trad. Comment. de motu stellae Martis praefatio.

sagte, daſs Mond und Erde, wenn sie nicht in Bewegung wären, gegen einander fallen und sich endlich begegnen würden. Die *Ebbe* und Fluth sah er als einen Beweis an, daſs der Wirkungskreis der ziehenden Kraſt des Mondes (virtus tractoria) sich bis zur Erde erstrecke.

Galilaei kannte diese Meinung Kepler's[1], die er an einer andern Stelle als von einem Antistite quodam aufgestellt erwähnt, und setzt ihr einzig das entgegen, daſs doch der Mond täglich über das Mittelländische Meer hingehe, und gleichwohl nur an dem äuſsersten östlichen Ende desselben und in Venedig eine Fluth hervorbringe.

11. Viel tiefer eindringend, als diese immer doch nur oberflächlichen Behauptungen, ist Newton's Untersuchung der Kräfte, welche die Ebbe und Fluth hervorbringen. Da seine Forschungen vollständig dargethan hatten, daſs die Bewegungen der Planeten von anziehenden Kräften abhängen, so entstand in seinem System die nothwendige Frage, welchen Einfluſs solche anziehende Kräfte, deren Daseyn nicht mehr bezweifelt werden konnte, auf die die Erde bedeckenden Gewässer haben müſsten, und da das Gesetz, wie diese anziehenden Kräfte wirkten, bekannt war, so lieſs sich der Erfolg, den ihre Wirkung haben müsse, einer genauern Berechnung unterwerfen.

Newton selbst hat diesen Gegenstand kurz abgehandelt[1], und nur die Resultate mitgetheilt, so daſs selbt der scharfsinnige Daniel Bernoulli bemerkt, er habe den eigentlichen Ursprung mancher Theoreme erst eingesehen, als seine eigene, eigenthümlich geführte Untersuchung ihn auf eben die Theoreme leitete.

Newton stellte zuerst die Untersuchung an, wie das Wasser in einem rund um die Erde gehenden Canale in seiner Bewegung beschleunigt oder verzögert wird, je nachdem es mit dem anziehenden Körper in Conjunction und Opposition kommt, oder 90 Grade von dem anziehenden Gestirne entfernt ist. Er berechnet nachher die anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes aus den Beobachtungen der Fluth unter der Voraus-

1 Dialogus de system. mundi. Augustae Treboc. 1635. p. 456. 412.

2 Principia phil. nat. Lib. I. propos. 66. coroll. 19. 20. und Lib. III. pr. 24. 36. 37.

setzung, dafs ihre Wirkungen sich bei den Syzygien in Summe vereinigen, statt dafs die Fluthen bei den Quadratu uns ihre Differenz angeben.

Newtons Theorie wurde[1] weiter ausgeführt von D Bernoulli, Maclaurin und L. Euler, welche alle die Fr zu beantworten suchten, welche Gestalt die mit Wasser deckte Erde annehmen würde, wenn das Wasser unter Einwirkung anziehender Gestirne zum Gleichgewicht käme

Bernoulli geht bei diesen Rechnungen sehr ins Einz ne, indem er die Fluthzeit und die Fluthhöhe für die versch denen Stellungen des Mondes und der Sonne berechnet; sucht das Verhältnifs der anziehenden Kräfte beider Weltk per aus den ungleichen Zwischenzeiten der zwei einander f genden Fluthen, die sich nämlich bei den Syzygien schnel als bei den Quadraturen des Mondes folgen.

Maclaurin's Entwickelung der Theorie der Ebbe u Fluth zeichnet sich durch eine elegante synthetische Darst lung aus.

Euler, obgleich er mit einiger Härte die attractio qu rundam Anglorum als eine qualitas occulta verachtet, und li ber Wirbel annehmen will, berechnet doch die Wirkung d virium solis et lunae ad mare movendum ganz genau nach New ton's Grundsätzen. Euler findet für die Höhen der Flut wie sie der Stärke der Anziehungskraft gemäfs seyn sollte andre Resultate als Newton und tadelt dessen Methode als irri aber Laplace zeigt[2] den Grund dieser Verschiedenheit, u bemerkt, dafs Euler vielmehr den in Newton's Methode li genden Scharfsinn nicht recht erkannt habe, indem dieser zu gleich auf die gegenseitige Attraction der Wassertheilchen Rück sicht nimmt, die Euler ganz unbeachtet läfst. Auch er suc die Gestalt, welche das Meer im Zustande des Gleichgewich unter der Einwirkung eines anziehenden Körpers annehme würde, — eine Untersuchung, deren Hauptmomente ich nach her mittheilen werde.

---

1 In den Pièces, qui ont remporté le prix proposé par l'aca des sciences pour 1740, wo auch die oben erwähnte Bemerkung Ber noulli's p. 56. vorkommt. Auch in Newtonii Phil. Nat. Princ. mat ed. le Seur und Jacquier. 1750. T. IV.

2 Mécan. cél. Tome V. 152.

Laplace ist der erste, der die Untersuchung mit Glück weiter fortzuführen versucht hat[1], indem er nach den Gesezzen der Hydrodynamik die *Oscillationen des Meeres* zu bestimmen suchte. Da ich von seinen Betrachtungen nachher einen kurzen Abrifs geben werde, so bemerke ich hier nur, dafs er (zwar unter gewissen beschränkenden Voraussetzungen) dennoch sehr allgemeine Formeln für die verschiedenen Oscillationen des Meeres findet. Die Formeln ergeben drei Arten von Oscillationen. Die eine hängt blofs von der Breite des Beobachtungs-Ortes und von der Declination des Gestirns ab, und sie giebt daher das an, was wir in den Beobachtungen als Verschiedenheit der Fluthen, wenn das Gestirn im Aequator steht oder wenn es erheblich davon entfernt ist, bemerken. Die zweite Art von Oscillationen hat eine Periode gleich der ganzen Zwischenzeit zwischen zwei Durchgängen des Gestirns durch den obern Meridian, und sie drückt daher die Ungleichheit der Fluthen aus, wobei das anziehende Gestirn über oder unter dem Horizonte steht. Laplace zeigt, dafs die nahe Gleichheit dieser beiden Fluthen auf eine in Vergleichung gegen die Gröfse der ganzen Erde geringe Ungleichheit der Tiefe des Meeres hindeute, oder eigentlich, dafs sie anzeigt, man dürfe keine erhebliche, von *der geographischen Breite abhängende* Ungleichheit der Tiefen annehmen. Die dritte Oscillation hat eine halb so lange Periode als die vorige und stellt die täglich zweimal wiederkehrende Fluth dar. Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, dafs die Springfluthen durch das Zusammentreffen der durch Sonne und Mond bewirkten Oscillationen der dritten Art hervorgebracht werden. Laplace's Darstellung wird vorzüglich dadurch schwierig, dafs er, wie es allerdings zu einer genauen Entwickelung erforderlich war, auf die Attraction der Wasserschicht selbst Rücksicht nimmt; ich werde daher im Folgenden versuchen, mit Beiseitsetzung dieser Rücksicht, wenigstens einen Begriff von den Rechnungen zu geben, die Laplace in Beziehung auf dieses Phänomen angestellt hat. Laplace hat diese schon vor 50 Jahren von ihm unternommenen Untersuchungen mit oft wiederholter Anstrengung weiter fortgeführt, und noch kürzlich aufs Neue eine Vergleichung der seit vielen Jahren in Brest angestellten Beobach-

---

1 Mécan. céleste. Livre IV. et XIII.

tungen mit den Resultaten der Theorie bekannt gemacht, di
nachher mittheilen werde.

Um diesen Gegenstand hier mit möglichster Klarheit den Bedürfnissen der verschiedenen Classen von Lesern sprechend abzuhandeln, werde ich zuerst eine populäre I stellung der Theorie der Ebbe und Fluth geben, dann die tersuchungen, welche Form das Meer beim Gleichgewi annehmen würde, mittheilen, und endlich zeigen, wie L LACE bei seinen Untersuchungen verfahren ist, und wie seine, durch ihre Vollständigkeit und durch Berücksichtig aller Umstände weitläuftigen Untersuchungen ziemlich k ihren Hauptmomenten nach, angeben kann.

Da ich hoffe, dafs diese Darstellung hinreichen wird, NEWTON's Ansicht als die richtige zu rechtfertigen, so habe dann wohl nicht nöthig, die von KLÖDEN, PARROT u. a. machten Einwürfe, die nicht die Sache, sondern vielmehr mifslungenen Erläuterungen mancher Schriftsteller treffen, widerlegen und kann auch die neuen Hypothesen der el genannten Physiker übergehen [1].

Populäre Darstellung der Newtonschen Erklärun

12. Wenn man sich die feste Erdkugel ganz mit Wass umgeben und ohne Bewegung denkt, so könnte es scheinen, ob man zuerst die Frage beantworten müsse, welche Gest die Wasserschicht annehmen müsse, wenn der Mittelpunct d Erde festgehalten werde, und nun das Wasser der anziehend Kraft des Mondes ausgesetzt sey; aber dieses Festhalten d festen Erdkörpers ist so ganz dem, was in der Natur vorkomm entgegen, dafs die Beantwortung dieser Frage uns der Erkl rung der Erscheinungen wenig näher bringt. Man pflegt dah ein anderes Problem aufzulösen, das allerdings näher mit de wirklichen Zustande der Dinge zusammentrifft, nämlich fol gendes. Wenn die mit einer Wasserschicht umgebene fest Erdkugel jetzt auf einmal der anziehenden Kraft des Mond ausgesetzt würde, welche Gestalt würde sie, indem sie gege den Mond zu fällt, annehmen?

Hier läfst sich nun wohl leicht übersehen, dafs die der Monde näheren Wassertheile an der Oberfläche stärker als de

1 KLÖDEN Grundlinien einer Theorie der Erdgestaltung, un PARROT in Poggendorfs Annalen IV. 219.

Mittelpunct der Erde angezogen werden, daſs sie diesem voraus-eilen und daſs also ein Theil der Wassermasse sich von den Seiten der Erde wegziehen und da ansammeln werde, wo der Mond im Zenith steht. Aber eben so leicht erhellet, daſs die jenseit der Erde liegenden Wassertheilchen minder stark als der Mittelpunct der Erde vom Monde angezogen werden, daſs sie also nicht so sehr beschleunigt, zu minder schneller Bewegung angetrieben, hinter dem Mittelpuncte zurück bleiben, und daſs also ein Theil der Wasserschicht sich von den Seiten dahin ziehen wird, wo der Mond im Nadir steht. So würde also kurz nachdem die Erde ihren freien Fall gegen den Mond hin angefangen hätte, eine Fluth im vollen Maſse an den zwei Orten auf der Erde entstanden seyn, welchen der Mond im Zenith und im Nadir steht, und dagegen würde eine Ebbe im vollen Maſse an alle den Orten eingetreten seyn, wo der Mond im Horizonte gesehen wird. Die anziehende Kraft der Erde auf jedes Theilchen wird hier darum nicht in Betrachtung gezogen, weil wegen der auf alle Theilchen Statt findenden Einwirkung, und des dadurch entstehenden Druckes und Gegendruckes, im ganzen Umfange der Kugelschicht Gleichgewicht statt findet, und Kräfte, die einander im Gleichgewichte halten, als gar nicht vorhanden angesehen werden können.

Man könnte nun ebenso auch fragen, welche Aenderung in der Lage der Wasserschicht eintritt, wenn zwei anziehende Körper A, B, die Erde mit ihrer Wasserschicht zu sich hin Fig. 1. zögen, und es läſst sich wohl leicht einsehen, daſs der Wasserberg oder die volle Fluth dann zwischen D und E an der einen Seite der Erde, und zwischen F und G an der andern Seite der Erde liegen werde; ferner daſs das Wasser am höchsten steigen, oder *Springfluthen* hervorbringen werde, wenn beide Körper A und B nach derselben Richtung vom Mittelpuncte der Erde aus liegen, indem dann die eine Kraft gerade die Wirkung der andern verstärkt, und der Wasserberg sich nicht gegen zwei Puncte hin in die Breite ausdehnt, sondern in einem Puncte concentrirt ist; auch daſs eben diese verstärkte Wirkung statt findet, wenn beide anziehende Puncte einander gerade gegenüber in den Richtungen CB, CH liegen, weil dann die *Zenithfluth* des einen durch die *Nadirfluth* des andern verstärkt wird; und endlich, daſs diejenigen Fluthen am kleinsten oder Nippfluth seyn werden, bei welchen die beiden an-

ziehenden Puncte vom Mittelpuncte der Erde gesehen 90° von einander entfernt sind.

Dieses alles stimmt nun freilich mit den Erscheinungen zusammen, indem eine von Mond und Sonne zugleich bewirkte Fluth statt findet, wenn beide Gestirne über dem Horizonte sind, und eine Fluth, wenn beide sich unter dem Horizonte befinden, indem die Vereinigung dieser Fluthen beim Neumonde Springfluthen hervorbringt, und auch die Vereinigung der Fluth, wobei der Mond unter dem Horizonte ist, mit der, wobei die Sonne über dem Horizonte ist, eine Springfluth bewirkt, u. s. w; aber mit Recht scheint man hier gegen einzuwenden, dafs ein solches Fallen gegen den Mond oder gegen die Sonne doch nicht wirklich statt finde, und damit die ganze Erklärung ihren Werth verliere. Diese Einwendung ist zwar sofern richtig, als die Erde nicht fortwährend sich jenen Körpern nähert; aber dennoch hat schon Mac-Laurin darauf sehr richtig erwiedert, dafs die Ablenkungen von der Tangente der Erdbahn genau ebenso erfolgen, wie es jenen Gesetzen des Falles gemäfs ist, und dafs daher die veränderte Gestalt der Wasserschicht ebenso bestimmt werde, obgleich allerdings wegen der gemeinschaftlichen, nach der Tangente der Bahn gerichteten Bewegung aller Theilchen, kein Fallen gegen Sonne oder Mond, sondern nur ein Fortrücken des Mittelpunctes der Erde auf der Erdbahn, und ein Abweichen der Wassertheilchen von derjenigen Bahn, die wir der Bahn des Mittelpunktes parallel nennen würden, statt findet. In der That pflegen wir ja auch die Bewe-gung in der kreisförmigen oder elliptischen Bahn so abzuleiten, dafs wir dem Körper eine Geschwindigkeit nach der Tangente beilegen, vermöge welcher
Fig. 2. er von A nach B in gegebener Zeit gelangen würde, und nun die anziehende Kraft gegen C hinzufügen, die in eben der Zeit ihn durch BD treiben würde, und folglich Ursache ist, dafs er den Bogen AD durchläuft. Eine ganz ähnliche Betrachtung findet hier statt. Denken wir uns nämlich die Erde
Fig. 3. AB in Bewegung, und stellt CD den Raum vor, den ihr Mittelpunct in einer Stunde zum Beispiel vermöge der schon erlangten Geschwindigkeit durchlaufen würde, wenn gar keine anziehenden Kräfte wirkten, so würde am Ende der Stunde die Erde in EDF angekommen seyn und ihre Kugelgestalt ohne alle Aenderung behalten haben. Nun aber stehe in

bedeutend großer Entfernung nach der Richtung CS die Sonne, nach der Richtung CM der Mond. Diese Himmelskörper wirken auf den festen Kern der Erde oder auf den Mittelpunct der Erde etwas schwächer ein, als auf die in der Gegend von G liegenden Wassertheilchen, und die Wirkung derselben auf die bei H liegenden Wassertheilchen ist noch schwächer als die Wirkung auf den Mittelpunct. Um diese Verschiedenheit merklich zu machen, muſs ich sie etwas stärker zeichnen, als sie in der Natur ist, und annehmen, die Sonne würde in jener Stunde den Mittelpunct C nach c, der Mond würde ihn für sich allein nach γ treiben; G dagegen würde stärker angezogen und nach Richtungen G m, G s, mit CM, CS beinahe parallel, bis nach b durch die Sonne, bis nach β durch den Mond fortgezogen werden; und H endlich würde, schwächer angezogen, nur bis nach a vermöge der einen Kraft, bis nach α vermöge der andern Kraft gelangen. Es ist bekannt, daſs man, um die vereinte Wirkung beider Körper auf jene drei Puncte zu erhalten, die Parallelogramme C c w γ, G b v β, H a u α, vollenden muſs, und daſs, wenn jedes jener Theilchen sonst keine Bewegung gehabt hätte, es vermöge der vereinigten Anziehungskraft der Sonne und des Mondes die Diagonale des Parallelogramms durchlaufen haben würde, also C nach w, G nach v, H nach u gelangt wäre. Aber wegen der allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit muſs man nun u x, v y, w z, mit CD parallel und CD gleich nehmen, und es ist bekannt genug, daſs die vereinigte Wirkung dieser ursprünglichen, allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit und jener gegen Sonne und Mond gerichteten anziehenden Kräfte darin besteht, daſs der Mittelpunct C nach z, der Punct G nach y, der Punct H nach x gelangt. Da nun die Masse der Erde dieselbe geblieben ist, und die Puncte G, H sich nicht von ihr getrennt, sondern nur die umgebende Wassermasse mit sich hingezogen haben, weil für die benachbarten Theilchen ganz ähnliche Umstände stattfinden, so hat die Erde die Gestalt x l y m angenommen, während ihr Mittelpunct auf der Bahn um die Sonne nach z gekommen ist, und die Gegenden, die ich vorhin mit G, H bezeichnete, haben also beide die höchste Fluth, die Gegenden l, m haben die tiefste Ebbe. Und hier, wo ich den Unterschied der Anziehungen auf C und auf G eben so groſs, als den Unterschied der Anziehungen auf H und auf C angenommen habe, sind beide

Fluthen gleich; — ob dieses richtig sey, müfste eine näher tersuchung der wirklich statt findenden Anziehungen erst z

Diese Entwickelung mufs, dünkt mich, alle die Einw die selbst von gelehrten Physikern zuweilen gemacht dafs ihnen die Fluth an der vom Monde abgewandten nicht deutlich sey, gänzlich entkräften. Um aber diese I von mehr als einer Seite zu beleuchten, füge ich noch gende, gleichfalls populäre Darstellung hinzu.

13. Wenn die Erde, ohne von einem Monde beg zu seyn, um die Sonne liefe, so würde immer, nicht blo der der Sonne zugekehrten, sondern auch an der von ihr a wandten Seite eine Fluth bemerkbar seyn. Es ist nämlich kannt, dafs die Erde, die ich für einen Augenblick blofs al sten Körper betrachten will, darum in ihrer Bahn bleibt, die Schwungkraft genau durch die anziehende Kraft der S im Gleichgewichte gehalten wird, und der Mittelpunct der beschreibt also diejenige Bahn, wobei dieses statt findet. nicht alle Theilchen der Erde haben auf der gekrümmten I (selbst wenn wir auf die Rotation nicht sehen), gleiche schwindigkeit und nicht alle werden gleich stark von der S angezogen. Die entferntern müssen auf ihrem etwas grö Kreise schneller, die der Sonne zugekehrten müssen auf rem kleinern Kreise etwas langsamer fortgehen, damit alle gleich ihren ganzen Umlauf vollenden und dagegen wirkt anziehende Kraft schwächer auf die entferntern und stä auf die nähern Theilchen. Diese Ungleichheit hätte gar nen Einflufs wenn die Erde ganz einen festen Körper dete, indem die gesammte Bewegung sich dann dem Mittel allen Schwungkräften und aus allen anziehenden Kräften mäfs verhalten würde; aber sobald flüssige Theilchen, solche, die sich von dem festen Erdkörper trennen können, der Erde sind, so wird jene Ungleichheit bemerkbar.

Die der Sonne nähern Theilchen haben eine klein Schwungkraft als der Mittelpunct der Erde und sind dage einer stärkern Attraction der Sonne wegen ihrer gröfsern N ausgesetzt; ist also für den Mittelpunct oder für den fes Erdkörper ein genaues Gleichgewicht zwischen anziehen Kraft und Schwungkraft vorhanden, so findet für die der So ne nähern Wassertheilchen an der ihr zugekehrten Ob fläche ein Uebergewicht der anziehenden Kraft statt, und di

Theilchen sind im Begriff, der Sonne sich zu nähern, oder die Attraction vermindert ihre gegen die Erde gerichtete Schwere, und die Wassersäulen, die an dieser Seite liegen, können nicht anders den benachbarten und allmählig weiter von der gegen die Sonne gewandten Richtung entfernt liegenden Theilchen das Gleichgewicht halten, als indem sie sich hier höher erheben. Die den festen Erdkern umgebenden Gewässer erheben sich daher hier um so viel als jene verminderte Schwere es fordert, ganz so, wie auf der rotirenden Erde die Wassersäulen um den Aequator höher seyn müssen, um, bei ihrer verminderten Schwere, denen gegen die Pole hin das Gleichgewicht zu halten. So also entsteht eine Fluth auf der der Sonne zugewandten Seite. Auf der von der Sonne abgekehrten Seite ist dagegen die Schwungkraft zu groſs; denn nicht bloſs ist die Schwungkraft an jener Seite etwas gröſser als im Mittelpuncte, sondern auch die Anziehungskraft der Sonne ist kleiner, also ist dort ein merkliches Uebergewicht der Schwungkraft vorhanden; die dort liegenden Wassertheilchen haben also ein Bestreben, sich von der Erde los zu reiſsen, oder, da ihre Schwere dieses hindert, so wird wenigstens die auf sie wirkende Schwerkraft sich als verringert zeigen; der Druck der seitwärts liegenden Wasserschichten, die durch eine mächtigere Schwere gegen den Mittelpunct der Erde getrieben werden, verdrängt daher diese von einer geringern Schwere gedrängten Theilchen und nöthigt sie, einen höhern Stand anzunehmen, so lange bis der Gegendruck der höher gewordnen Säulen stark genug ist, um das Gleichgewicht zu erhalten. Auch an der von der Sonne abgewandten Seite entsteht also eine Fluth, und das Wasser senkt sich in allen den Puncten, die die Sonne im Horizonte sehen, oder denen sie wenig über oder unter dem Horizonte steht, um sich da vorzüglich zu sammeln, wo die Sonne im Zenith und wo sie im Nadir steht.

Die Rotation der Erde bringt hierin keinen erheblichen Unterschied hervor, indem die sämmtlichen Gewässer schon die dieser Rotation angemessene Gestalt haben, und die wegen jener fremden Kräfte eintretenden Aenderungen sich nun eben so bei der sphäroidischen Erde ergeben, wie sie bei der kugelförmigen, nicht rotirenden Erde seyn würden; nur bleibt jetzt der Gipfel der Fluthhöhe nicht fortwährend an demselben Puncte der Erde.

Um zu verstehen, welchen Einfluſs der Mond a Fluthen hat, müssen wir an den Einfluſs denken, den e auf die Bewegung des Mittelpunctes der Erde ausübt. wir uns die Erde in ihrer Bahn fortrückend denken, so w wenn es gar keinen Mond gäbe, fortrücken würde, un plötzlich den Mond an die Stelle hinsetzen, wo er beim monde steht, so wird ohne Zweifel die ganze Erde weg verstärkten Attraction gegen die Sonne hin, aus ihrer Ba was ausweichen, und genau solche Betrachtungen, w eben vorhin ausgeführten, zeigen, daſs die dem Monde kehrten Wassertheilchen am meisten und mehr als der M punct von ihrem Wege abgelenkt werden, sich nämlic Monde und der mit ihm in Conjunction stehenden Sonne als der Mittelpunct nähern und also ein Anschwellen des sers bewirken werden. Die an der entgegengesetzten liegenden Theilchen werden dagegen minder aus der ursp lichen Bahn herausgezogen, und entfernen sich daher gl falls vom Mittelpuncte der Erde, so daſs eine Fluth an de Sonne und Mond abgewandten Seite entsteht.

Etwas ganz Aehnliches geschieht, wenn wir uns Mond im Vollmonde, der Sonne gerade gegenüber, de Dann werden nämlich alle Puncte der Erde etwas von der ne abwärts gezogen und zwar die von der Sonne entfernt dem Monde zugekehrten, am meisten und mehr als der telpunct, die der Sonne zugekehrten am wenigsten; die nenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im Zenith ist, also vermehrt, weil die ein wenig aus ihrer Bahn heraus chende Erde diese Theilchen hinter sich zurückläſst; und jenige Sonnenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im dir ist, wird verstärkt, weil der dort im Zenith steh Mond die Theilchen, die ihm am nächsten sind, mehr als Mittelpunct aus der sonstigen Bahn gegen sich hinzieht.

Hätten wir den Mond da stehend angenommen, w in den Vierteln steht, so läſst sich eben so leicht zeigen, er die Sonnenfluth schwächt oder vielmehr da seine Wirk mächtiger als die der Sonne ist, daſs er eine Fluth da her bringt, wo die Sonne im Horizonte und der Mond im Ze oder Nadir steht; daſs diese aber vermindert wird durch Einwirkung der Sonne, welche das Wasser da hinzieht, der Mond es wegzieht. Ist der Mond im letzten Viertel,

steht er in der Gegend, wohin der Lauf der Erde gerichtet ist; er beschleunigt also die Bewegung der Erde in ihrer Bahn und zwar am meisten die Bewegung der vorangehenden Theilchen, die ihm am nächsten sind, am wenigsten die Bewegung der Theilchen, die in der Bahn die nachfolgenden und vom Monde am entferntesten sind. Jene also eilen ein wenig dem Mittelpuncte der Erde voraus und machen da, wo der Mond im Zenith ist, eine Fluth; diese hingegen bleiben hinter dem Mittelpuncte zurück und dadurch entsteht da eine Fluth, wo der Mond im Nadir ist; aber da zugleich die Sonne zweien Puncten, welche den Mond im Horizonte habe, im Zenith oder Nadir steht, so wird da das tiefe Fallen des Wassers gehindert und dadurch die Mondfluth geschwächt. — Die Betrachtung für den Mond im ersten Viertel läfst sich hiernach leicht anstellen.

14. Wenn man die Richtigkeit dieser Ansichten anerkennt, so wird man nun auch ferner leicht einräumen, dafs die Fluthen höher und eben deshalb auch die Ebben tiefer seyn müssen, wenn der Mond der Erde näher ist, weil die Ungleichheit der Einwirkung auf den Mittelpunct und auf den nächsten Punct offenbar geringer ist, wenn ihre Entfernungen vom Monde sich wie 61 zu 60, als wenn sie sich wie 59: 58 verhalten. Die gröfsere Höhe der Fluthen bei der Erdnähe des Mondes ist daher leicht zu erklären. Nicht ganz so leicht erhellet der Grund, den jedoch die strengere Theorie deutlich nachweist[1], warum die Fluthen etwas höher sind, wenn der Mond, und noch mehr, wenn Sonne und Mond sich im Aequator befinden. Theorie und Erfahrung zeigen, dafs es so sey, und aus dem Grunde sind die Springfluthen um die Aequinoctien am höchsten, weil dann die Sonne im Aequator und der Mond nie weit vom Aequator ist.

Da Mond und Erde oder Sonne und Erde einander nicht ruhend gegenüber stehen, sondern die rotirende Erde in jedem Augenblicke einen andern Punct dem Monde oder der Sonne zuwendet, so kann sich das Wasser nie ganz dem Gleichgewichte gemäfs so um den Mittelpunct ordnen, wie wir es bisher annahmen. Ein Punct der Erde, der zum Beispiel beim Neumonde allmählig durch die Umdrehung dahin geführt wird,

1 Vergl. Nr. 19.

wo Sonne und Mond ihm im Zenith stehn, oder der nach nach Sonne und Mond über seinem Horizonte herauf st sieht, leidet nach und nach eine immerstärker werdende ziehung beider, und das Wasser in seiner Umgebung k also zum Steigen, wenn die Erde ganz mit Wasser umg ist oder wenigstens das Wasser um jenen Punct mit einem ausgedehnten Meere in Verbindung steht. Dieser Antrieb Anschwellen des Wassers ist freilich am stärksten, wenn M und Sonne das Zenith dieses Ortes erreicht haben, abe auch nachher noch die Kraft in wenig geschwächtem M fortdauert und wegen mannichfaltiger Hindernisse die erre Höhe nie ganz dem gleich seyn kann, was erfolgen w wenn bei ruhender Erde das Wasser sich ganz ins Gleic wicht setzte, so dauert das Anschwellen selbst im gr Ocean noch fort, wenn auch Mond und Sonne schon das Zenith hinaus fortgerückt sind.

Diese Verspätung der Fluth, die aus dem eben be kten Grunde selbst im Ocean statt findet, ist nun noch m licher in entlegenen Meeren, deren Zugänge eng sind ode denen die Fluth erst durch einen Umweg gelangen kann, schon oben bemerkt ist.

15. Daſs nur weit ausgedehnte Meere, nur solche, mit dem groſsen Ocean in ziemlich freier Verbindung st Fluth und Ebbe haben können, läſst sich aus dem Vorigen wohl leicht übersehen. Allerdings wird auch im Caspisc Meere die Schwere des Wassers um etwas vermindert, w Sonne und Mond sich dem Zenith nähern, aber da diese V minderung für die ganze Ausdehnung dieses eng begrän Meeres fast gleich ist, so bleibt die Oberfläche horizontal nichts verräth jene Einwirkung. Erstreckt sich dagegen solches Meer bis in diejenigen Gegenden, wo der Mond der Nähe des Horizonts steht, so ist es grade so, als ol einer zweischenkligen Röhre im einen Schenkel eine leich Flüssigkeit, im andern eine schwerere ist, oder als ob in nem die Flüssigkeit allmählig leichter geworden wäre; bekan lich muſs diese leichtere Flüssigkeit höher stehen, um der sich schwerern im andern Schenkel das Gleichgewicht zu h ten, wären aber beide in gleichem Maſse leichter geword so würde der vorige gleichhohe Stand durch nichts ges werden.

Theoretische Untersuchungen über die Ebbe und Fluth.

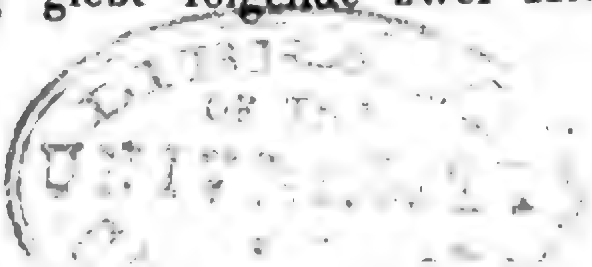
16. Wenn man auf die Rotation der Erde keine Rücksicht nimmt, sondern es so ansieht, als ob die Erde dem anziehenden Körper immer dieselbe Seite zukehre, so läſst sich leicht bestimmen, welche Gestalt die Erde, vermöge der auf sie einwirkenden beschleunigenden Kräfte annehmen müſste, wenn sie entweder ganz flüssig oder doch ganz mit Wasser bedeckt wäre.

Es ist bekannt, daſs die ganze Erde, wenn man sie als eine vereinigte Masse betrachtet, von dem Körper S so angezogen wird, als ob ihre ganze Masse im Mittelpuncte vereinigt wäre. Diese Attraction kann also, wenn der Abstand des Mittelpunctes der Erde vom Mittelpuncte des anziehenden Körpers SC $= a$ ist, durch $\frac{f^2}{a^2}$ ausgedrückt werden, worin f eine durch die als bekannt angenommene Intensität der anziehenden Kraft gegebene Gröſse ist, welche bestimmt wird, indem man sie mit der Anziehung der Erde an ihrer Oberfläche oder der Schwere, als Einheit angenommen, vergleicht. Da wir hier bloſs nach den Aenderungen der Gestalt fragen, welche die kugelförmige Erde vermöge jener Attraction erleidet, so kommt es nur auf die Differenz der auf jedes Theilchen und auf den Mittelpunct der Erde wirkenden Kräfte an, indem diejenigen Kräfte, welche die Erde in ihrer Bahn erhalten, allen Theilen der Erde gemeinschaftlich und gerade so groſs sind, als es der auf den Mittelpunct wirkenden Attractionskraft gemäſs ist. Fig. 4.

Es sey nun M ein Theilchen der Erde, dessen Coordinaten seyen $CP = x$, $PM = y$, so ist die auf dasselbe wirkende, gegen S ziehende beschleunigende Kraft

$$= \frac{f^2}{(a-x)^2 + y^2}.$$

Diese Kraft kann auf verschiedene Weise in zwei Seitenkräfte zerlegt werden, unter welchen Zerlegungen zwei zu unserm Zwecke passend sind. Die erste, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine auf CS senkrechte zerlegen; die zweite, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine nach der Richtung des Radius CM wirkende zerlegen. Die erste Zerlegung giebt folgende zwei Kräfte



1. mit CS parallel $= \frac{(a-x)f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

2. auf CS senkrecht $= \frac{y f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

oder da x, y ziemlich geringe in Vergleichung geg sind, so dafs man $\frac{1}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{a^3} +$ setzen kann, so ist

1. jene Kraft $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{2 x f^2}{a^3}$.

2. und diese $= \frac{y f^2}{a^3}$

Die zweite Zerlegung würde die Kraft

I. mit CS parallel $= \frac{a f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$.

II. mit CM parallel $= \frac{f^2 \sqrt{(x^2+y^2)}}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

geben, und wegen der schon erwähnten Vereinfach

I. die mit CS parallele $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{3 f^2 x}{a^3}$;

II. die mit CM parallele $= \frac{f^2 \sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$

Bei beiden Zerlegungen mufs die mit CS parallele I aus den oben erwähnten Gründen um $\frac{f^2}{a^2}$ vermindert wer weil wir nur allein den Unterschied der auf dem ga Erdkörper und der auf jedes einzelne Theilchen wirke Kraft anwenden dürfen, um die Aenderung der Figu finden. Also ist zuerst die in Betrachtung kommende K zusammengesetzt aus einer Kraft (A) $= \frac{2 x f^2}{a^3}$, nach C und einer Kraft (B) $= \frac{y f^2}{a^3}$, senkrecht auf CS, und zw tens ist sie auch zusammengesetzt aus einer Kraft (C) $= \frac{3 f}{a}$ nach CS und einer Kraft (D) $= \frac{f^2 \sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$ n der Richtung MC.

17. Wir wollen die beiden letzten Kräfte (C) und (

zuerst betrachten und nun auch die nach MN gerichtete zerlegen in eine nach MQ und eine nach MR, wo nämlich MQ der verlängerte Radius, MR die Tangente ist. Diese Zerlegung der Kraft (C) giebt nach MQ . . . (C) Cos. MCP und nach MR . . . (C) Sin. MCP,

oder nach MQ die Kraft $= \frac{3 f^2 x^2}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$

nach MR die Kraft $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 . \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Jene strebt der (D) entgegen und die anziehende Kraft des Gestirnes vermehrt die gegen die Erde zu treibende Kraft um $\frac{f^2}{a^3} \left(\sqrt{(x^2 + y^2)} - \frac{3 x^2}{\sqrt{(x^2 + y^2)}} \right)$, die nach der Richtung der Tangente wirkende Kraft ist dagegen $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Hier zeigt sich erstlich, dafs die gegen die Erde zu treibende Kraft positiv oder die Schwere des Theilchens vermehrend ist, wenn $y^2 > 2 x^2$ oder $y > x . \sqrt{2}$, das heifst für alle die Theilchen M, für welche der Winkel SCM > 54° 45′ ist; also für die zwischen F und H liegenden und eben so für die zwischen G und I liegenden Theilchen wird die Schwere vermehrt, für die in FG und in HI liegenden Theilchen vermindert.

Zweitens erhellet, dafs die in M nach der Tangente wirkende Kraft positiv ist, wenn x, y, beide positiv oder beide negativ sind, und negativ, wenn sie ungleiche Zeichen haben. Diese Tangentialkraft ist aber positiv, wenn sie den positiven Winkel MCS zu vermindern strebt, und negativ, wenn sie den positiven zu vermehren, den negativen zu vermindern strebt; also ist von A bis D ein Bestreben des Wassers gegen A, zu fliefsen, eine positive Kraft; von D bis B, wo x negativ, y positiv, eine negative Kraft oder ein Bestreben des Wassers gegen B hin zu strömen; von A bis E ist die Kraft negativ oder zu Verminderung des negativen Winkels ACG thätig, das ist, das Wasser hat in G ein Bestreben nach A zu, und endlich in dem Quadranten EB strebt es nach B hin. So lange also die Erde die Kugelgestalt hat, findet in der ganzen gegen S zugewandten Halbkugel ein Hindrängen nach A, und in der entgegengesetzten Halbkugel ein Hindrängen nach B

statt, und es erhellet also, daſs in A und B ein *Anschw* des Wassers entstehen wird, welches sich eben **dadurch** D und E wegzieht, oder dort sinkt.

18. Aber welche Gestalt wird dann die **Wassersc** der Erde annehmen, und bei welcher Gestalt wird das *Gl*

Fig. 3. gewicht hergestellt seyn? Wir wollen annehmen, x l y n diese längliche Gestalt: so wirken auf ein Theilchen *M* i Oberfläche erstlich die Attraction des Erdkörpers selbt, zweitens die beiden aus der Attraction des fremden Kö hervorgehenden Kräfte. Die Oberfläche ist nach den Ges der Hydrostatik im Gleichgewichte, wenn die aus jenen K ten entspringende Mittelkraft senkrecht gegen die Oberfl ist, und daraus läſst sich zeigen, daſs x l y m ein durch Um hung um x y entstandenes Sphäroid ist, dessen lange Axe Umdrehungs-Axe und gegen den anziehenden Körper ger tet ist.

Um den Beweis hiefür zu führen, müssen wir zu die Attraction kennen, welche ein solches Sphäroid selbst gen jedes seiner Theilchen ausübt. Die Untersuchung i diesen Gegenstand kann hier nicht vollständig eingesch: werden; ich begnüge mich daher, die Hauptsätze, worau ankommt, mitzutheilen. I. Es erhellt leicht, daſs die traction des kleinen Kegels BAD auf den Punct A du

Fig. 5. $\int \frac{dr.\ \pi\,\varphi^2\ r^2}{r^2}$ ausgedrückt wird, wenn der als sehr kl angenommene Winkel BAD $= 2\,\varphi$ und der Abstand irg einer Schicht der Kegelmasse von A, $=$ r ist, also die Attract dieser Kegelmasse ist ihrer Länge proportional $= \pi\,\varphi^2.$ r.

Fig. 6. II. Wenn auf der Oberfläche eines Sphäroids ADBE Punct M willkürlich angenommen wird, und man zieht Ma, M mit den beiden Haupt-Axen des Axenschnittes, worin M lie parallel, so ist für jede zwei, unter gleichen Winkeln gegen M gezeichnete gerade Linien ML, MK, die Summe dieser Lini ML + MK, gleich der Summe der mit ihnen parallelen Lini ak + al, welche von dem Puncte a in der Axe AB aus bis den Umfang einer der Ellipse ADBE ähnlichen und ähnli liegenden Ellipse sich erstrecken. — Dieser Satz wird a der Betrachtung der Ellipse leicht erwiesen.

III. Die Attraction, die von der ganzen Linie MK od einem sehr schmalen Kegel, dessen Axe MK und Spitze M is

auf M ausgeübt wird, giebt nach der Richtung MR eine Attraction $= \pi . \varphi^2 . MR$, [Vergl. Nr. 1] und die aus der Attraction der ML und MK entspringende Wirkung ist $= \pi\varphi^2 (MP + MR) = 2\, \pi\varphi^2 . ap$ (wobei nur noch zu bemerken ist, daſs wenn RML = KMR so groſs wird, daſs die innerhalb der Ellipse fallende Sehne nicht mehr auf ML, sondern auf der rückwärts gehenden Verlängerung liegt, MP als negativ vorkommt) — weil die ganze Attraction der MK oder des sie umgebenden kleinen Kegels mit Cos. KMR multiplicirt werden muſs, um die Wirkung nach MR zu erhalten.

IV. Denkt man sich nun ADBE und die dieser Ellipse ähnliche adbe um AB gedreht, und die so entstandenen Sphäroide durch irgend eine Ebene, die durch Ma geht, geschnitten, so läſst sich für jeden der so entstehenden Schnitte, die nämlich bei irgend einer Lage der Ebene ähnlich in dem kleinern und in dem gröſsern Sphäroid ausfallen, ein dem Satze II gleich lautender Satz beweisen, und es läſst sich nun wohl übersehn, daſs

V. die nach der Richtung MR wirkende gesammte Attraction des Sphäroids ADBE auf den Punct M genau so groſs ist, als die gesammte nach der Richtung ab wirkende Attraction des ähnlichen Sphäroids abde auf den Punct a; und genau eben so läſst sich

VI. zeigen, daſs die auf M wirkende mit DE parallele Wirkung der Attraction des Sphäroids ADBE eben so groſs ist, als die Attraction eines ähnlichen und ähnlich liegenden Sphäroids, dessen halbe mit DE parallele Axe cq = aM ist, auf den Punct q nach der Richtung qE seyn würde.

VII. Es ist also nur nöthig, die Attraction zu bestimmen, welche ein Sphäroid auf den Endpunct seiner Axe und auf einen Punct in der Oberfläche seines Aequators ausübt, und davon die eben angedeutete Anwendung zu machen.

VIII. Um zuerst die Attraction auf den Endpunct der Umdrehungs-Axe zu finden, stelle man sich von diesem aus bis zu dem anziehenden Theilchen, dessen Masse ich mit dM bezeichne, eine Linie gezogen vor, und bestimme die Lage dieses Theilchens durch die Länge = r dieser Linie, durch den Winkel $= \varphi$, den sie mit der Axe macht, und den Winkel $= \psi$, der die Stelle des Theilchens auf einem um die Axe gezognen Parallelkreise angiebt. Dann sind die

drei auf einander senkrechten Dimensionen des Theilc
$r d\varphi$, $r \operatorname{Sin.} \varphi . d\psi$ und dr, und da die auf jenen Punct
geübte Attraction dem Quadrate des Abstandes umgel
proportional ist, so haben wir jenes Theilchens Attra

$$= \frac{r^2 \, d\varphi . \, d\psi . \, dr . \operatorname{Sin.} \varphi,}{r^2}$$

und das richtig genommene
tegral der Formel $d\psi . dr . d\varphi . \operatorname{Sin.} \varphi$. ist der Ausdruck
die gesammte Attraction. Aber wir verlangen hier nur
Wirkung der Attraction nach der Richtung der Axe,
$= d\psi . dr . d\varphi . \operatorname{Cos.} \varphi . \operatorname{Sin.} \varphi$ ist; und diese Formel g
durch zweimalige Integration, wenn man das auf ψ sich
ziehende Integral von $\psi = 0$ bis $\psi = 2\pi$ nimmt,

$$2\pi \, r . \, d\varphi . \operatorname{Sin.} \varphi . \operatorname{Cos.} \varphi .$$

Damit aber dies Integral sich bis an die Grenze des Sphär
erstrecke, muſs es von $r = 0$ bis $r = \frac{2 a b^2 \operatorname{Cos.} \varphi}{a^2 - (a^2 - b^2) \operatorname{Cos.}}$
genommen werden, indem dies der Werth von r für
ganze Sehne der Ellipse ist, wenn a die halbe Axe, b
halben Durchmesser des Aequators bedeutet.

Also jene Attraction $= \int \frac{-4\pi \, a b^2 \operatorname{Cos.}^2 \varphi . \, d. \operatorname{Cos.}}{a^2 - (a^2 - b^2) \operatorname{Cos.}^2 \varphi}$

$$= \int \frac{4\pi a b^2}{a^2 - b^2} d. \operatorname{Cos.} \varphi - \int \frac{4\pi a^3 b^2}{a^2 - b^2} \frac{d. \operatorname{Cos.} \varphi}{a^2 - (a^2 - b^2) \operatorname{Cos.}}$$

$$= \frac{+ 4\pi a b^2 \operatorname{Cos.} \varphi}{a^2 - b^2} - \frac{2\pi b^2}{e^3 a} \log . \frac{1 + e \operatorname{Cos.} \varphi}{1 - e \operatorname{Cos.} \varphi},$$

$$= \frac{-4\pi b^2}{a . \, e^2} + \frac{2\pi b^2}{a e^3} \log . \frac{1 + e}{1 - e},$$

weil das Integral v
$\varphi = 0$ bis $\varphi = 90°$ genommen werden muſs. Uebrigens b
deutet $e = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{a}$ die Excentricität.

IX. Um die Attraction gegen einen Punct in der Obe
fläche des Aequators zu finden, wollen wir uns durch die
sen Punct zwei Ebenen gelegt denken, eine durch die Haup
axe des Sphäroids und eine zweite unter dem Winkel
gegen diese geneigt mit der Axe parallel. Es läſst sich leic
zeigen, daſs beim Sphäroid der Schnitt, den diese letzter
Ebene bildet, dem Schnitte durch die Axe ähnlich ist, un
daſs seine in der Ebene des Aequators liegende Axe =
$2 b \operatorname{Cos.} \psi$, die mit der Umdrehungs-Axe parallele Axe =
$2 a \operatorname{Cos.} \psi$ ist. Ein Theilchen dieser Ebene kann, wenn r der

Abstand von jenem angezognen Puncte in des Aequators Oberfläche ausdrückt und φ den Winkel, den dieser Radius mit der Ebene des Aequators macht, durch dr. r$d\varphi$ ausgedrückt werden, und wenn man den Winkel ψ um $d\psi$ verändert, so wird die Lage dieses Theilchens um r Cos. φ. $d\psi$ geändert, welches daher die dritte Dimension des anziehenden Theilchens, und dieses selbst $= r^2 dr. d\psi. d\varphi. \text{Cos.}\, \varphi$ giebt, die Attraction aber $= \frac{r^2\ dr.\ d\psi.\ d\varphi.\ \text{Cos.}\ \varphi}{r^2}$, und diese gesammte Attraction zerlegt, giebt parallel mit dem Radius, der von dem angezogenen Puncte nach dem Mittelpuncte geht, eine Kraft $= dr.\ d\psi.\ d\varphi.\ \text{Cos.}\ \varphi.\ \text{Cos.}\ \psi.\ \text{Cos.}\ \varphi$, deren Integral auf den ganzen Körper erstreckt das ist, was wir suchen.

Die Ellipsen, deren eine, unter dem Winkel ψ gegen den Axenschnitt geneigt, wir betrachten, haben eine kleinere halbe Axe $= b\ \text{Cos.}\ \psi$ und die gröfsere halbe Axe $= a\ \text{Cos.}\ \psi$; da aber die Abstandslinien $= r$ jetzt vom Ende der kleinern Axe ausgehen, so ist $r = \frac{2a^2b\ \text{Cos.}\ \varphi\ \text{Cos.}\ \psi}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi}$ oder $r = \frac{2\,b\ \text{Cos.}\ \varphi\ \text{Cos.}\ \psi}{1 - e^2\ \text{Sin.}^2 \varphi}$, der Werth der Sehne, und das erste Integral der Formel $dr.\ d\varphi.\ d\psi.\ \text{Cos.}^2\ \varphi\ \text{Cos.}\ \psi$ ist also $= \frac{2b\ d\varphi.\ d\psi.\ \text{Cos.}^3\ \varphi.\ \text{Cos.}^2\ \psi}{1 - e^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi}$; das zweite in Beziehung auf ψ, von $\psi = 0$ bis $\psi = \pi = 180°$ genommen, ist $= \frac{b\pi\, d\varphi.\ \text{Cos.}^3\ \varphi}{1 - e^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi} = \frac{b\pi.\ d\text{Sin.}\ \varphi\, (1 - \text{Sin.}^2\ \varphi.)}{1 - e^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi}$

oder $= b\pi \left\{ \frac{d.\ \text{Sin.}\ \varphi}{e^2} - \frac{1 - e^2}{e^2} \frac{d\ \text{Sin.}\ \varphi}{1 - e^2\ \text{Sin.}^2 \varphi} \right\}$ wovon das Integral ist $b\pi. \left\{ \frac{\text{Sin.}\ \varphi}{e^2} - \frac{1 - e^2}{2e^3} \log. \frac{1 + e\ \text{Sin.}\ \varphi}{1 - e\ \text{Sin.}\ \varphi} \right\}$ welches von $\varphi = -90°$ bis $\varphi = +90°$ genommen, endlich giebt die Attraction

$$= \frac{b\pi}{e^2} \left(2 - \frac{1 - e^2}{e} \log. \left(\frac{1 + e}{1 - e} \right) \right)$$ als Attraction am Aequator.

X. Die Attraction wird hier linearisch ausgedrückt, weil wir sie für jedes Theilchen $= \frac{dM}{r^2}$ gesetzt haben; nach eben dieser

Art des Ausdruckes würde die ganze Schwere an der Ob fläche der kugelförmigen Erde, deren Halbmesser $= R$ durch $\frac{4}{3} \frac{\pi R^3}{R^2}$ ausgedrückt seyn, und da wir diese als E heit ansehn, so müssen jene Ausdrücke noch mit $\frac{4}{3} \pi R$ di dirt werden. Dadurch erhalten wir für ein Theilchen, dess mit der Axe parallele Ordinate $= x$, die auf sie senkrecl Ordinate $= y$ ist (nach Nr. VI.) die mit der Axe parall

$$\text{Attraction} = \frac{3(1-e^2)x}{R.\ e^2} \Big\{ -1 + \frac{1}{2e} \log. \frac{1+e}{1-e}$$

die mit dem Aequator parallele Attraction

$$= \frac{3y}{4Re^2} \Big\{ 2 - \frac{1-e^2}{e} \log. \frac{1+e}{1-e} \Big\}.$$

Da nun jene, wie aus Nr. 16. erhellt, um $\frac{2f^2 x}{a^3}$ ve mindert, diese um $\frac{f^2 y}{a^3}$ vermehrt wird durch die Einwirku des anziehenden Gestirns, so ist es die aus

$$x \Big\{ -\frac{3(1-e^2)}{Re^2} + \frac{3}{2} \frac{(1-e^2)}{Re^3} \log. \frac{1+e}{1-e} - \frac{2f^2}{a^3} \Big\}$$ u

$$y \Big\{ \frac{3}{2Re^2} - \frac{3}{4} \frac{(1-e^2)}{Re^3} \log. \frac{1+e}{1-e} + \frac{f^2}{a^3} \Big\}$$

entstehende Mittelkraft, die auf die Oberfläche senkrecht se muſs, damit das Gleichgewicht bestehe. Nenne ich σ d Winkel, den diese Mittelkraft mit der Axe x macht, so i

$$\text{Tang.}\sigma = \frac{x}{y} \left\{ \frac{+3e - \frac{3}{2}(1-e^2)\log.\left(\frac{1+e}{1-e}\right) + \frac{2f^2 Re^3}{a^3}}{-6(1-e^2)e + 3(1-e^2)\log.\left(\frac{1+e}{1-e}\right) - \frac{4f^2 Re^3}{a^3}} \right.$$

In einem Sphäroid aber ist der Winkel der Normallin mit der Axe durch $\text{Tang.}\ \sigma = \frac{y}{(1-e^2)x}$ bestimmt, und di se Winkel müssen also gleich seyn, wenn ein Sphäroid von d Excentricität $= e$ die zum Gleichgewicht erforderliche F gur ist.

XI. Bekanntlich ist $\log. \frac{1+e}{1-e} = 2(e + \frac{1}{3}e^3 + \frac{1}{5}e^5 + .$ also der Zähler des ersten Werthes von Tang. σ ist = $y\left(2e^3 + \frac{4}{5}e^5 + \frac{2f^2 R.\ e^3}{a^3}\right)$, der Nenner des erste

Werthes $= x\left(2e^3 - \frac{4}{5}e^5 - \frac{4f^2Re^3}{a^3}\right)$.

Es mufs also $\frac{1}{1-e^2} = \frac{1 + \frac{1}{5}e^2 + \frac{f^2R}{a^3}}{1 - \frac{2}{5}e^2 - \frac{2f^2R}{a^3}}$, seyn,

oder $e^2 = \frac{15}{2}\frac{f^2R}{a^3}$.

Da R hier den mittlern Halbmesser der Erde, a den Abstand des anziehenden Gestirns bedeutet, so ist, wenn ich unter A die halbe lange Axe verstehe unter $B = A\sqrt{(1-e^2)}$ den Halbmesser des auf sie senkrechten gröfsten Kreises, $R = \frac{A}{2}\left(1 + \sqrt{(1-e^2)}\right)$ und $A^2e^2 = A^2 - B^2$, $\frac{A^2e^2}{A+B} = A - B = \frac{A^2e^2}{2R}$, daher $A - B = \frac{15}{4}\frac{f^2A^2}{a^3}$.

XII. Will man hieraus die Höhe der durch die Sonne bewirkten Fluth finden, so ist für eine kugelförmige Erde vom Halbmesser $= A = 19597962$ Fufs, weil $\frac{f^2}{A^2} =$ der Masse der Sonne gleich 354790, $\frac{A}{a} = 0{,}000041585$ ist, $A-B = 1{,}875$ Paris. Fufs, als Intervall der höchsten Fluth der Ebbe für die Wirkung der Sonne.

Für den Mond ist $\frac{f^2}{A^2} =$ ungefähr $\frac{1}{70}$, $\frac{A}{a} = \frac{1}{60{,}296}$, also $A - B = 4{,}81$ Fufs.

Die vereinigten Fluthen des Mondes und der Sonne bei den Syzygien würden also 6,69 Fufs; die Fluthen bei den Quadraturen kaum 3 Fufs betragen.

19. Diese Betrachtungen reichen offenbar hin, die Verschiedenheit der Fluthhöhe bei der Erdnähe und Erdferne des Mondes, auch die Zeit und Höhe der Fluth bei der vereinten Wirkung von Sonne und Mond, wenn sie in verschiedenen Puncten des Himmels stehen, herzuleiten, so weit dies nämlich der Voraussetzung, dafs das Wasser sich völlig ins Gleichgewicht stelle, gemäfs ist. Ich will hiebei nicht verweilen, sondern nur noch den oben unerklärt gelassenen Umstand berühren, warum die Fluthen am gröfsesten sind, wenn der anziehende Himmelskörper im Aequator steht. Auf die wegen

der Rotation statt findende Abweichung der Erde von der Kug-
Fig. 7. gestalt wird auch hier nicht gesehen, sondern ADBE stellt
Sphäroid vor, so wie die Attraction des Mondes es bestim
Ist nun hier NO die Ebene des Aequators, so hat O
höchste Fluth dann, wenn der Mond im Zenith des O
D steht, aber da auch der auf die Ebene der Figur sen
rechte Halbmesser der Erde = CA ist, so ist der größse
Halbmesser des Erd-Aequators = CO, der kleinste = CA, u
das Intervall zwischen Fluth und Ebbe = CO — CA, welches,

$$CO = \frac{A\sqrt{(1-e^2)}}{\sqrt{(1-e^2)\,Cos.^2 d}} =$$

$= A\,(1 - \frac{1}{2}\,e^2\,Sin.^2\,d)$, gesetzt werden kann u
$CA = A\sqrt{(1-e^2)} = A\,(1-\frac{1}{2}\,e^2)$ ist, in CO —
$= A.\ \frac{1}{2}\,e^2\,Cos.^2\,d$ übergeht.

Die Fluthhöhe ist also unter dem Aequator dem Quadr
vom Cosinus der Declination des Gestirns proportional. A
auch für andere geographische Breiten gilt eine ähnliche I
stimmung. Deutet nämlich on einen mit dem Aequator p
rallelen Schnitt an, so ist dieser eine Ellipse, die dem Aequ
tor ON ähnlich ist, aber im Verhältniſs des Cosinus der Bre
kleiner, der gröſste Halbmesser dieses Schnitts ist a
$= A\ Cos.\ \beta.\ (1 - \frac{1}{2}\ e^2\ Sin.^2\ d)$, der klein
$= A\ Cos.\ \beta.\ (1 - \frac{1}{2}\ e^2)$, und da nicht der U
terschied dieser Halbmesser $= \frac{A\ Cos.\ \beta}{2}\ e^2\ Cos.^2\ d$
Fluthhöhe bestimmt, sondern dieser Unterschied noch m
dem Cosinus der Neigung gegen die Verticallinie multip
cirt wird, also or = om. Cos. β seyn würde, wenn o
$= \frac{A\,Cos.\beta}{2}\ e^2\ Cos.^2\ d$ = jenem Unterschiede ist, so ist o
fenbar die Fluthhöhe in der geographischen Breite = β
$= \frac{A\ e^2\ Cos.^2\ \beta.\ Cos.^2\ d}{2}$, wenn des Mondes Declinati
= d ist.

Eben das gilt für die Sonne.

Diese Formel zeigt erstlich, daſs die Fluth gegen die Po
der Erde abnimmt, und zweitens, daſs um die Zeit der Aequ
noctien, wo beim Neumond und Vollmond beide Himme
körper dem Aequator nahe sind, die Springfluthen höher st
gen, als zu andern Jahreszeiten.

20. Obgleich nun diese Untersuchungen, so wie sie hier angedeutet und von Bernoulli, Maclaurin und Euler schon in der Mitte des vorigen Jahrhundert durchgeführt sind, in den Hauptsachen eine genügende Erklärung darzubieten scheinen, so sind doch die Mathematiker in dem, was sie Erklärung einer Naturerscheinung nennen, zu strenge, als dafs sie immer hierbei hätten stehen bleiben sollen. Eine Erscheinung ist erst dann *vollständig* erklärt, wenn dabei erstlich alle mitwirkende Umstände genau der Natur gemäfs in Betrachtung gezogen sind, und wenn sich dann zweitens die in genauen Zahlen gegebenen Beobachtungen auch dem Mafse nach mit der Theorie einstimmig zeigen. Laplace fand es daher mit Recht nothwendig, auf den Umstand, dafs der Zustand des Gleichgewichts nie erreicht wird, sondern die Ebbe und Fluth in steten Oscillationen besteht, Rücksicht zu nehmen, und die so berichtigte Theorie erst mit der Erfahrung zu vergleichen. Diese Theorie hier ganz mitzutheilen, überschreitet nun zwar bei weitem die Grenzen der gegenwärtigen Darstellung; indefs glaube ich doch den kundigen Lesern einen Blick auf die Hauptzüge dieser Theorie nicht vorenthalten zu dürfen, und ich will es wagen, eine Andeutung dieser Hauptzüge zu versuchen. Auch sie ist noch nicht eine durchaus vollendete; aber sie enthält Andeutungen auf alles das, was man bei Vergleichung zahlreicher und sehr genauer Beobachtungen vielleicht künftig berücksichtigen nothwendig finden wird.

21. Jedem, der sich nur etwas mit der höheren Hydrodynamik beschäftiget hat, sind die Differentialgleichungen

$$P\delta x + Q\delta y + R\delta z - \delta p = \delta x\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) + \delta y\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) + \delta z\left(\frac{d^2t}{dt^2}\right),$$

und $0 = \left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{dv}{}\right) + \left(\frac{dw}{dt}\right)$ bekannt[1], welche die Bewegungen flüssiger Körper von unveränderlicher Dichtigkeit $= 1$, umfassen. Hier ist die Lage jedes Theilchens durch drei, auf einander senkrechte Coordinaten x, y, z, gegeben, u, v, w sind die am Ende der Zeit $= t$

[1] Ich habe hier ganz Laplace's Bezeichnungen im 4. Buch d. M. cél. beibehalten.

statt findenden, diesen drei Coordinaten parallelen Ges digkeiten, also $u = \left(\frac{dx}{dt}\right)$, $v = \left(\frac{dy}{dt}\right)$, $w = \left(\frac{d}{d}\right.$ P, Q, R, sind die nach diesen drei Richtungen wirk beschleunigenden Kräfte; da aber in allen in der Natu kommenden Fällen $P\delta x + Q\delta y + R\delta z$, eine integrabl mel ist, so setzen wir dafür δV und bemerken, daſs d der Summe derjenigen Producte besteht, welche wir er wenn jede Kraft in das Differential ihrer Richtung mult wird; endlich ist p der Druck, den eben jenes The leidet.

Die Bezeichnung δ ist hier von dem d deswegen schieden, weil die letztere sich auf ein und dasselbe chen, welches wir im Laufe der Zeit gleichsam verf bezieht, jene Bezeichnung hingegen den Uebergang auf Theilchen andeutet.

Um diese Formeln auf die Schwankungen des M anzuwenden, führt man sie besser auf drei neue verände Gröſsen r, ϑ, π zurück, deren erste der Abstand vom Sc puncte der Erde ist, welcher zugleich der Anfangspun x, y, z, war, die zweite ϑ giebt den Winkel an, w dieser Radius r mit der Axe der x macht, und π ist der W den eine durch r und die Axe der x gelegten Ebene m durch die Axe der x und die Axe der y gelegten Ebene r

Wenn die Erde eine Rotation um die Axe der x ha würde π sich schon deshalb im Laufe der Zeit ändern, auch keine Bewegung in dem Fluido vorginge, und d Rotationsbewegung gleichförmig ist, ginge der Werth π, der für den Anfang der Zeit t galt, in $nt + \pi$ über; aber, wo von Schwankungen des Flüssigen, jedoch nu Schwankungen, die gegen die ganze Gröſse der Erde ge sind, die Rede ist, gehen die anfänglichen Werthe r, im Laufe der Zeit in $(r + \alpha s)$; $(\vartheta + \alpha u)$; $(\pi + nt +$ über, und hier ist α so klein, daſs man seine höheren tenzen weglassen darf. Hier erhellt nun leicht,

$$x = (r + \alpha s)\,\text{Cos.}\,(\vartheta + \alpha u),$$
$$y = (r + \alpha s)\,\text{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u).\,\text{Cos.}\,(nt + \pi + \alpha$$
$$z = (r + \alpha s)\,\text{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u)\,\text{Sin.}\,(nt + \pi + \alpha v$$

ist, und man findet δx, δy, δz, indem man bloſs r, als veränderlich ansieht, die in Beziehung auf t genomm

Differentiale aber, indem man blofs s, u, v als veränderlich ansieht. So wird, wenn man die in α^2 multiplicirten Glieder weglässt, $\delta x = \delta\vartheta\,[\,(-r - \alpha s)\ \text{Sin.}\ \vartheta - \alpha r v\ \text{Cos.}\ \vartheta\,] + \delta r\,[\text{Cos.}\ \vartheta - \alpha u\ \text{Sin}\ \vartheta\,]$; und so ferner.

Aber da wir unsere Betrachtungen sogleich blofs auf die Oberfläche beziehen werden, und für diese r beinahe constant ist, so können wir δr als $= 0$ werdend ansehen, und erhalten durch eine etwas lange, aber gar nicht schwierige Rechnung

$$\left.\begin{array}{l} \alpha r^2 \delta\vartheta \left\{ \left(\frac{d^2 u}{dt^2}\right) - 2\,n\ \text{Sin.}\ \vartheta\ \text{Cos.}\ \vartheta \left(\frac{dv}{dt}\right) \right\} \\ + \alpha r^2 \delta\pi \left\{ \text{Sin.}^2\ \vartheta \left(\frac{d^2 v}{dt^2}\right) + 2\,n.\ \text{Sin.}\ \vartheta.\ \text{Cos.}\ \vartheta \left(\frac{du}{dt}\right) \right. \\ \qquad\qquad \left. + \frac{2\,n.\ \text{Sin.}^2\ \vartheta}{r} \left(\frac{ds}{dt}\right) \right\} \\ = \frac{n^2}{2}\,\delta. \left\{ (r + \alpha s)^2\ \text{Sin.}^2 (\vartheta + \alpha u) \right\} + \delta V - \frac{\delta p}{\varrho} \end{array}\right\} \text{L.}$$

Da diese Gleichung sich auf die Oberfläche beziehen soll, so ist $\delta p = 0$, weil alle Theilchen, die sich an der Oberfläche befinden, gar keinen Druck leiden, also in Beziehung auf sie auch keine Ungleichheit des Druckes statt findet. Ferner würden beim Zustande des Gleichgewichts alle vor dem Gleichheitszeichen stehenden Glieder wegfallen, da im Gleichgewichte die von der Zeit abhängigen Aenderungen gar nicht vorkommen, und folglich ist, wenn (δV) denjenigen Werth anzeigt, den δV beim Gleichgewichte hat, der nach dem Gleichheitszeichen stehende Theil $= \delta V - (\delta V)$, und dieser läfst sich noch näher angeben, da δV nur dadurch von (δV) verschieden ist, dafs erstlich die Schwere etwas anders einwirkt, wenn die Oberfläche sich um etwas Geringes $= \alpha y$ über den natürlichen Zustand erhebt, und zweitens fremde Kräfte, zum Beispiel die Attraction der Sonne und des Mondes einwirken. Da δV die Summe der Producte aus jeder Kraft in das Differential ihrer Richtung ausdrückt, so kommt wegen der Einwirkung der Schwere, deren Kraft $=$ g sey, ein Glied $= -\,g\delta r$ vor, so lange das Theilchen an der Oberfläche in der Entfernung $=$ r war, oder beim Gleichgewichte, und dieses Glied geht in $-\,g\,(\delta r + \alpha\delta y)$ über, wenn bei der Bewegung das Theilchen in die Entfernung $r + \alpha y$ rückt[1],

1 An der Oberfläche ist also y das, was vorhin s hiefs.

und wenn man die aus der Einwirkung fremder Anzieh
entspringenden Glieder $= \alpha\delta V'$ setzt, so ist δV —
$= - \alpha g\delta y + \alpha\delta V'$.

Diese Betrachtungen verbunden mit der Bemerkung
das Glied, worin $\left(\frac{ds}{dt}\right)$ vorkommt, wegfallen kann, gie
her für die Oberfläche folgende erste aus der Wirkun
Kräfte hergeleitete Gleichung

$$r^2 \delta\vartheta \left\{ \left(\frac{d^2 u}{dt^2}\right) - 2 n \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta . \left(\frac{dv}{dt}\right) \right\}$$

$$+ r^2 \delta\pi \left\{ \text{Sin.}^2 \vartheta . \left(\frac{d^2 u}{dt^2}\right) + 2 n \text{ Sin. } \vartheta . \text{Cos } \vartheta \left(\frac{du}{dt}\right) \right\}$$

$$= - g\delta y + \delta V'.$$

Die zweite im Anfange angeführte Gleichung beruh
der Ueberlegung, daſs im Fortrücken des Theilchens
Masse ungeändert bleibt. Diese Masse hat bei der an
lichen durch r, ϑ und π bestimmten Lage die drei Dime
nen dr, $rd\vartheta$, $rd\pi$ Sin. ϑ, oder ist $= r^2$ dr. $d\vartheta$. $d\pi$ Si
im Fortgange der Zeit ist sie also den frühern Bezeichnu
gemäſs in (Sin. $\vartheta + \alpha u$ Cos. ϑ) $(r^2 + 2 r \alpha s)$ (dr +
$(d\vartheta + \alpha du)$ $(d\pi + \alpha dv)$ übergegangen, welches, da
höhern Glieder wegbleiben $= r^2$ Sin. ϑ. dr. $d\vartheta$. $d\pi$

$$+ \alpha \Big\{ 2 rs \text{ Sin. } \vartheta . d\vartheta . dr. d\pi + r^2 \text{ Sin. } \vartheta \, d\vartheta . ds$$
$$+ r^2 \text{ Sin. } \vartheta \, dr. du. d\pi + r^2 \text{ Sin. } \vartheta . d\vartheta . dr.$$
$$+ r^2 \text{ Cos. } \vartheta . ud\vartheta . dr. d\pi \Big\},$$

ist, und also $0 = \frac{d. r^2 s}{dr} + r^2 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \text{ Cos.}}{\text{Sin.}} \right.$
als zweite Gleichung für die Bewegung giebt.

Auch das in Beziehung auf r genommene Integral di
Gleichung wird also eine gegenseitige Bestimmung der v
kommenden Gröſsen geben; und bei dieser Integration kön
u und y als constant angesehen werden, weil sich zei
läſst[1], daſs die Theilchen, die sich auf einem gewissen E
halbmesser befinden, sich auch bei den hier zu betracht
den Schwankungen fortwährend auf einerlei Halbmesser b
finden.

---

1 Laplace gegen das Ende des 36. §. im I. Buch.

Dieses Integral wird demnach

$$C = r^2 s + \frac{1}{3} r^3 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta} \right\}$$

und wenn r=R ist, für den Boden des Meeres, und dort $r^2 s = R^2 (s)$ wird, so ist $C = R^2 (s) + \frac{1}{3} R^3 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta} \right\}$.

Das Integral erhält seinen vollen Werth an der Oberfläche, wo $r = R + \gamma$ ist, wenn γ die Tiefe des Meeres anzeigt, der volle Werth ist also

$$0 = r^2 s - R^2 (s) + R^2 \gamma \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta} \right\}.$$

Da ferner $r^2 s - R^2 (s) = R^2 s + 2 R\gamma s - R^2 (s)$ ist, und das Glied $2 R \gamma s$ wegbleiben kann, weil die Tiefe des Meeres $= \gamma$ sehr klein gegen R und auch s sehr klein ist, so haben wir $r^2 s - (r^2 s) = R^2 \big(s - (s)\big)$; und da R in $R + \alpha (s)$; $R + \gamma$ in $R + \gamma + \alpha s$, übergeht, wie aus den mit diesen Zeichen verknüpften Begriffen erhellet, so ist $\gamma + \alpha \big(s - (s)\big)$ die im Verlaufe der Zeit t veränderte Tiefe des Meeres. Da nun die Anfangs durch r, ϑ, π bestimmten Theilchen so fortgerückt sind, daſs ihre Lage jetzt durch $r + \alpha s$, $\vartheta + \alpha u$, $\pi + \alpha v$ angegeben wird, (wenn gleich u, v, als unabhängig von r angesehen werden konnten) so sind die Theilchen in eine Stelle gerückt, wo schon Anfangs

$$\gamma \ldots \text{den Werth} = \gamma + \alpha u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + \alpha v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right)$$

hatte, also schon damals $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left(u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right) \right)$

war; da nun aber die Erhebung der Oberfläche vermöge der Schwankungen $= \alpha y$ war, so ist der jetzige wahre Werth von $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left\{ y + u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right) \right\}$ und daher der oben gefundene volle Werth des Integrals

$$y = -\left(\frac{d.\gamma u}{d\vartheta}\right) - \left(\frac{d.\gamma v}{d\pi}\right) - \frac{\gamma u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta}$$

und diese Gleichung (N), muſs also nebst der obigen (M) den ferneren Untersuchungen zur Grundlage dienen[1]. Sie gelten

---

1 Die Gründe, warum (M) auch für die innern Theilchen gilt, muſs man bei LAPLACE I. §. 36. gegen das Ende nachsehn.

noch allgemein für alle kleine Schwankungen eines Kern der kugelförmigen Erde nicht sehr tief bedeck Meeres.

22. Um sie auf die Oscillationen anzuwenden, w durch die Attraction anderer Weltkörper hervorgebracht den, müssen wir den Werth des Gliedes $\alpha\delta V'$ entwi

Dieser besteht theils aus der Wirkung der entfernte ziehenden Gestirne, theils aus der Attraction der Wassers selbst, deren Höhe durch αy ausgedrückt ist.

Wenn des Theilchens geographische Länge $= \pi$, des an diesem Orte culminirenden Punctes Rectascensi $nt + \pi$, wenn des Theilchens geographische Breite $= 90$ ist, und v bedeutet die Declination, ψ die Rectascensio Gestirns, dessen Abstand vom Mittelpuncte der Erde $=$ statt dafs des Theilchens Entfernung $= r$ ist, so erhellet l dafs die drei Coordinaten beider Puncte folgende sind:

$$\varrho \text{ Sin. } v;\quad \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Cos. } \psi;\quad \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Sin. } \psi;$$
$$r \text{ Cos. } \vartheta;\quad r \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } (nt + \pi);$$
$$r \text{ Sin. } \vartheta. \text{ Sin. } (nt + \pi).$$

Der Abstand des anziehenden Körpers von dem an genen Theilchen ist also

$$= \sqrt{\{(\varrho \text{Sin.} v - r \text{Cos.} \vartheta)^2 + (\varrho \text{Cos.} v \text{Cos.} \psi - r \text{Sin.} \vartheta \text{Cos.} (nt-}$$
$$+ (\varrho \text{ Cos.} v \text{ Sin.} \psi - r \text{ Sin.} \vartheta \text{ Sin.} (nt + \pi))^2\}$$
$$= \sqrt{\{(\varrho^2 - 2r\varrho[\text{Sin.} v \text{Cos.} \vartheta + \text{Cos.} v. \text{Sin.} \vartheta \text{Cos.} (nt + \pi - \psi)]}$$

und wenn dieser Abstand $= f$, die Masse des Körpers ist, so ist die unmittelbare Einwirkung auf das Thei $= \frac{L}{f^2}$, und der daraus hervorgehende Theil von $\alpha\delta V$

$= \frac{-L df}{f^2} = + L. d \frac{1}{f}$. Aber da blofs die relative B gung gegen den Mittelpunct der Erde gesucht wird, so die auf den Mittelpunct wirkende Kraft, in entgegengese Richtung angebracht, jener Kraft hinzugefügt werden. I findet man, wenn man die auf den Mittelpunct wirkende $= \frac{L}{\varrho^2}$ nach den Richtungen der drei Coordinaten zerleg dem Theilchen anbringt, und mit dem Differential ihrer B tungen multiplicirt; diese Zerlegung giebt

$\frac{L}{\varrho^2}$ Sin. v; $\frac{L}{\varrho^2}$ Cos. v Cos. ψ;

$\frac{L}{\varrho^2}$ Cos. v. Sin. ψ, und

$$\frac{L}{\varrho^2}\left\{\text{Sin. v. } \delta x + \text{Cos. v. Cos. } \psi.\ \delta y + \text{Cos. v. Sin. } \psi.\ dz\right\}$$

welches =

$$=\frac{Lr}{\varrho^2}\,\delta\left\{\text{Const.} + \text{Sin. v. Cos. } \vartheta + \text{Cos. v Cos. } \psi \text{ Sin } \vartheta \text{ Cos. } (nt+\pi) + \text{Cos. v. Sin. } \psi \text{ Sin. } \vartheta \text{ Sin. } (nt+\pi)\right\}$$

ist, wenn man für x, y, z, ihre auf das angezogene Theilchen gehenden Werthe setzt, und dieses ist die mit $\delta.\frac{L}{f}$ zu verbindende Gröſse, so daſs $\alpha\,\delta\,V' =$

$$L.\delta.\left\{\frac{1}{f}-\frac{1}{\varrho}-\frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos.}\vartheta.\text{Sin.v}+\text{Sin.}\vartheta.\text{Cos.v.Cos.}(nt+\pi-\psi)\right]\right\}$$

wird. Statt der Constans habe ich sogleich $\frac{1}{\varrho}$ gesetzt, weil, wenn das Theilchen im Mittelpuncte selbst läge, oder die Kugel, auf deren Oberfläche r sich bezieht, einen unendlich kleinen Halbmesser hätte, die relative Wirkung ja nothwendig = 0 wäre. Wir müssen also nun $\frac{1}{f}$ in eine nach den Potenzen von ϱ geordnete fallende Reihe entwickeln; diese ist =

$$\frac{1}{\varrho}+\frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos. } \vartheta \text{ Sin. v} + \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\right]$$
$$+\tfrac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}\left[(\text{Cos.}\vartheta.\text{ Sin. v} + \text{Sin.}\vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi))^2-\tfrac{1}{3}\right]$$

und es wird $\alpha\,\delta\,V' =$

$$\tfrac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}L.\delta.\left\{\left[\text{Cos.}\vartheta \text{ Sin. v} + \text{Sin.}\vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\right]^2-\tfrac{1}{3}\right\}$$

wenn man wegen der Gröſse der Entfernung ϱ die folgenden Glieder wegläſst. Dieser Werth läſst sich aber leicht in folgende verwandeln =

$$\frac{r^2}{\varrho^3}L.\delta.\left\{\begin{array}{l}\tfrac{1}{4}\ (\text{Sin.}^2 \text{ v} - \tfrac{1}{2}\text{ Cos.}^2 \text{ v})\ (1+3 \text{ Cos. } 2\vartheta)\\ +3 \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta \text{ Sin. v. Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\\ +\tfrac{3}{4}\text{ Sin.}^2\ \vartheta \text{ Cos.}^2 \text{ v Cos. } 2\ (nt+\pi-\psi)\end{array}\right\},$$

der auf drei verschiedene Arten von Oscillationen hinweiset.

Diese Oscillationen können, da sie sehr klein sin
sich zu einander hinzufügend und jede für sich besteher
gesehen werden, und wir können sie daher jede einze
trachten. Diejenige, auf welche sich das erste Glied be
hängt für einen gegebenen Ort auf der Erde blofs von v al
ihre Periode wird also durch die Rückkehr des Himmelsk
zu derselben Declination bestimmt. Die zweite Art von
lationen hängt vorzüglich, wenn π einerlei bleibt, von
ab, und hat also den scheinbaren Umlauf des Gestirns u
ganzen Himmel oder die Rückkehr zu derselben Stellung
den Mittagskreis zu ihrer Periode. Die dritte Art von
lationen hat nur eine halb so lange Periode, da bei weni
ändertem v ihre gleichen Werthe schon wiederkehren,
$nt - \psi$ sich um 180 Grade ändert.

Ehe wir aber hieraus die Oscillationen selbst nähe
stimmen können, müfste eigentlich noch derjenige Theil
$\alpha \delta V'$ gesucht werden, der von der Attraction der Kugelsc
deren ungleiche Dicke durch αy ausgedrückt ist, hervorgeb
wird. Indefs, da diese auf einer ganz eigenthümlichen
tersuchung beruht und es uns hier nur auf den Hauptgang
Betrachtungen ankommt, so wollen wir darauf hier k
Rücksicht nehmen.

23. Oscillationen der ersten Art.

Diese werden so bestimmt, als ob der ganze Werth
$\alpha V'$ in dem Ausdrucke

$\frac{1}{4} \frac{r^2}{\varrho^3} L (\text{Sin.}^2 v - \frac{1}{2} \text{Cos.}^2 v) (1 + 3 \text{Cos.} 2 \vartheta)$, entha
wäre. Die Betrachtung dieser Oscillation kann ich hier s
abkürzen durch die von Laplace vollständiger *begründ*
Bemerkung, dafs sie fast ganz so erfolgen, wie es das
ter der Einwirkung der anziehenden Körper *statt finde*
Gleichgewicht fordern würde. Nimmt man dies an, so s
die in Beziehung auf t genommenen partiellen *Differenti*
$= 0$, und die Gleichung M geht ganz kurz in $\alpha g y = \alpha V'$ üb

$$\text{das ist } \alpha y = \frac{r^2 L (\text{Sin.}^2 v - \frac{1}{2} \text{Cos.}^2 v) (1 + 3 \text{Cos.} 2 \ldots}{4 \varrho^3 . g.}$$

und dies ist die Höhe der Fluth, die in Beziehung auf die
Oscillationen statt findet. Der Grund aber, warum sich hi
fast ganz die dem Gleichgewichte angemessene Form he

stellt, oder sich herstellen würde, wenn keine andere Oscillationen vorkämen, ist der, daſs v und ϱ lange genug nahe einerlei bleiben, um die gesammte Wirkung auszuüben, die diesem Werthe gemäſs ist. Für den Mond ist das zwar nicht strenge richtig, da seine Declination und Entfernung sich nicht so langsam ändert, aber auch für ihn glaubt LAPLACE mit diesem Ausdruck zufrieden seyn zu können.

24. Oscillationen der zweiten Art.

Das Glied

$$\frac{3r^2 L}{\varrho^3} \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta. \text{ Sin. v. Cos. v. Cos. } (nt + \pi - \psi),$$

läſst sich so darstellen, daſs v und ψ als bekannte Functionen von t erscheinen. Denn da die Declination v leicht durch den Abstand vom Durchschnittspuncte des Aequators mit der Bahn des anziehenden Körpers, also, da dieser Knoten hier als ruhend angesehen werden kann, durch die Rectascension ψ dargestellt wird, diese aber sich ungefähr der Zeit proportional ändert, so läſst sich jener Ausdruck in eine Reihe von Gliedern von der Form α k Sin. ϑ Cos. ϑ Cos. $(it+\pi-A)$ entwickeln, in welcher, wegen der langsamen Bewegung der Himmelskörper in Vergleichung gegen die Umdrehung der Erde, i, wenig von n verschieden ist.

Um nun in Beziehung auf unsern Werth von V' die Gleichungen M und N zu integriren, wollen wir

$$y = a \text{ Cos. } (it + \pi - A),$$
$$u = b \text{ Cos. } (it + \pi - A),$$
$$v = c \text{ Sin. } (it + \pi - A),$$
$$y - \frac{V'}{g} = a' \text{ Cos. } (it + \pi - A)$$

setzen, wo a, b, c und a' rationale Functionen von Sin. ϑ und Cos. ϑ bedeuten. Unter diesen angenommenen Werthen ist bloſs der für y angenommene anscheinend willkürlich; der für $y - \frac{V'}{g}$ findet wegen der eben angeführten Bedingungen von selbst statt, wenn der für y richtig ist, und u, v sind so an y geknüpft, daſs die allgemeine Form ihrer Werthe mit der für y zugleich gegeben ist. Dies erhellt aus der Gleichung M, die, weil ϑ und π sich unabhängig von einander ändern, sich in zwei Gleichungen zerlegt, nämlich

$$r^2\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right)-2nr^2\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{dv}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\vartheta}\right)-g\left(\frac{dy}{d\vartheta}\right.$$

und

$$r^2\text{Sin.}^2\vartheta.\left(\frac{d^2v}{dt^2}\right)+2nr^2\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{du}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\pi}\right)-g\left(\frac{dy}{d\pi}\right.$$

Wenn nun hier in der letzten Gleichung, nach de Gleichheitszeichen, kein anderer von π abhängiger Factor vo kommt, als Sin. (it $+\pi-$ A), so muſs eben dieser Fact sich auch als der einzige von π und t abhängende in de finden, was vor dem Gleichheitszeichen steht, und desha müssen u und v die angenommenen Werthe haben. Hiera erhellet aber auch, wie man voraus sehen konnte, daſs d für y angenommene Form einen Genüge thuenden Werth gel Hierbei ist denn auch noch die Bemerkung zu erwähne daſs es nicht nothwendig ist, das vollständige Integral un serer Gleichungen zu finden, sondern daſs ein bloſs Genüg thuender Werth zureicht. Der vollständige Werth müſs nämlich zwei unbestimmte Functionen enthalten, deren Wer vom anfänglichen Zustande des Flüssigen abhängen würd aber gewiſs ist in den Erscheinungen der jetzigen Oscillation nichts mehr von dem kenntlich, was von dem anfänglichen Zu stande abhing, und es kommt daher auf jene Functionen g nicht an.

Die Gleichung N läſst sich so ausdrücken:

$y=+\left(\frac{d.\,\gamma\,u\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d.\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\left(\frac{d.\,\gamma v}{d\,\pi}\right)$, also nun durch

$a=+\left(\frac{d.\,\gamma b\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\gamma\,c$, wenn man γ als von π un abhängig annimmt, also nur den Fall betrachtet, wo die sphä roidische Wasserschicht eine bloſs von der geographisch Breite abhängige Tiefe hat.

In den beiden aus der Gleichung M hervorgegangene Gleichungen sollte man eigentlich darauf Rücksicht nehme daſs i von n verschieden ist, und sollte die verschieden Glieder nachher in eins vereinigen; aber um hier nur die Haup züge der Theorie zu verfolgen, will ich es ansehen, als o n = i wäre, was immer beinahe statt findet, da die eigen Bewegung des Gestirns gering ist. Dann würden jene zw aus M hervorgegangenen Gleichungen mit Hülfe der für u, angenommenen Werthe

$r^2 b + 2 r^2 c \,\text{Sin.}\, \vartheta \,\text{Cos.}\, \vartheta = + \frac{g.}{n^2}\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right)$; und

$r^2 c \,\text{Sin.}^2 \vartheta + 2 r^2 b \,\text{Sin.}\, \vartheta \,\text{Cos.}\, \vartheta = - \frac{g a'}{n^2}$; geben, also

$$b = \frac{g}{n^2 r^2}\left(\frac{\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) + \frac{2 a' \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta}}{(1 - 4 \,\text{Cos.}^2 \vartheta)}\right), \text{ und}$$

$$c = \frac{-g}{n^2 r^2 \,\text{Sin.}^2 \vartheta}\left(\frac{a' + 2\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) \text{Cos.}\, \vartheta \,\text{Sin.}\, \vartheta}{1 - 4 \,\text{Cos.}^2 \vartheta}\right),$$

oder wenn man hier auch der Grösse a die Form Q Sin. ϑ Cos. ϑ giebt und Q als unabhängig von ϑ ansieht, wo dann

$a' = \left(Q - \frac{k}{g}\right) \text{Sin.}\, \vartheta \,\text{Cos.}\, \vartheta$ ist, wird

$b = -\left(\frac{Q g - k}{n^2 r^2}\right)$; dadurch aber geht die Gleichung

$a = + \left(\frac{d (\gamma. \, b. \,\text{Sin.}\, \vartheta)}{d \,\text{Cos.}\, \vartheta}\right) - \gamma \, c$, weil b von ϑ unabhängig ist, in

$$a = - \frac{\gamma \, b \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin}\, \vartheta} - \gamma \, c - b \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right),$$

$a = - b \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right)$ über, weil $- \frac{b \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta} - c = 0$ ist.

Hier erhellt also, daſs man $a = 0$ erhalten würde, wenn man γ als unabhängig von ϑ ansähe, oder daſs die Schwankungen der zweiten Art ganz verschwänden, wenn der Erdkern überall gleich tief mit Wasser bedeckt wäre. Dieses würde wenigstens sehr nahe der Fall seyn, da unsre Voraussetzung $i = n$, nicht viel von der Wahrheit entfernt ist. Denken wir uns einen sphäroidischen Erdkern, den das sphäroidische Meer bedeckt, so können wir für einen solchen Körper $\gamma = l\,(1 - q \,\text{Cos.}^2 \vartheta)$ setzen, und q als von ϑ unabhängig ansehen; dann würde $a = Q \,\text{Sin.}\, \vartheta \,\text{Cos.}\, \vartheta = -2 b l q \,\text{Sin.}\, \vartheta \,\text{Cos.}\, \vartheta$

also $Q = \frac{2 l k q}{2 l g q - n^2 r^2}$

und da wir nun aus leicht erhellenden Gründen für k wieder $\frac{3 r^2 L}{\varrho^3}$ Sin. v. Cos. v setzen dürfen, da es so gut ist, als ob

wir v und ϱ gar nicht als von t abhängig angesehn hätten, ist die Gröfse der zweiten Oscillation durch

$$\frac{6\,L\,r^2\,l\,q}{\varrho^3}\left\{\frac{\text{Sin. v. Cos. v Sin. }\vartheta\text{ Cos. }\vartheta\text{. Cos. }(n\,t+\pi-\psi)}{2\,l\,g\,q-r^2\,n^2}\right.$$

ausgedrückt und u, v ebenfalls bestimmt.

Hieraus erklärt sich, wie LAPLACE bemerkt, die s[o] nahe Gleichheit der Fluthen, die statt finden, wenn das G[e]stirn ein Mal über, das andre Mal unter dem Horizonte ist; de[nn] wenn l q sehr klein ist, so müssen diese Oscillationen sehr g[e]ringe werden, so wie sie es in unsern Meergegenden wir[k]lich sind.

25. Oscillationen der dritten Art.

Sie hängen von dem Gliede

$$\tfrac{3}{4}.\frac{r^2\,L}{\varrho^3}\text{ Sin.}^2\,\vartheta\text{ Cos.}^2\text{ v. Cos. }(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi),$$ ab, u[nd]

da wir schon wissen, dafs man um die Oscillationen der zwe[i]ten Art so klein zu erhalten, als sie wirklich sind, γ beinah[e] als überall gleich ansehen mufs, so wollen wir γ consta[nt] $= 1$ setzen. Setzen wir nun

$$y = a\text{ Cos. }(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi),$$

$$y - \frac{V'}{g} = a'\text{ Cos. }(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi),$$

also $\alpha\,a' = \alpha\,a - \dfrac{3\,r^2\,L}{4\,\varrho^3\,g}\text{ Sin.}^2\,\vartheta\text{ Cos.}^2\,v$,

$$u = b\text{ Cos. }(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi),$$

$v = c\text{ Sin. }(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi)$, so könnten wir, ganz de[m] vorigen Verfahren analog fortrechnen; aber die Formeln wer[-]den hier einfacher, wenn man alles auf Sin. $\vartheta = x$ zurückführ[t] wo dann die beiden aus M hergeleiteten Gleichungen geben

$$4\,n^2\,r^2\,b + 4\,n^2\,r^2\,c\,x\,\gamma\,(1-x^2) = g\,\gamma\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a'}{d\,x}\right);$$

$$4\,n^2\,r^2\,c\,x^2 + 4\,n^2\,r^2\,b\,x\,\gamma\,(1-x^2) = -\,2\,g\,a';$$

$$b = \frac{g\,\gamma\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a}{d\,x}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^2} + \frac{2\,g\,a'\,\gamma\,(1-x^2)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}$$

$$c = \frac{-\,2\,g\,a'}{4\,n^2\,r^2\,x^4} - \frac{g\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a'}{d\,x}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}.$$

Wir hatten aber

$$y = +\left(\frac{d.\,\gamma\, u\, \text{Sin.}\, \vartheta}{d.\, \text{Cos.}\, \vartheta.}\right) - \left(\frac{d.\, \gamma\, v}{d\, \pi}\right),$$ also jetzt

$$\frac{z}{l} = -\left(\frac{d\, b}{d\, x}\right) \gamma\, (1 - x^2) - \frac{b\, \gamma\, (1 - x^2)}{x} - 2\, c,$$

oder endlich

$$0 = \alpha x^2 (1 - x^2) \left(\frac{d^2 a}{d\, x^2}\right) - \alpha x \left(\frac{d\, a}{d\, x}\right) + \frac{6\, r^2 L\, x^2\, \text{Cos.}^2 v}{g\, \varrho^3}$$

$$+ \alpha\, a \left(2\, x^2 - 8 + \frac{4\, n^2\, r^2\, x^4}{g\, l}\right).$$

Diese Gleichung läſst sich nun auflösen, indem man $\alpha\, a = A\, x^2 + B\, x^4 + C\, x^6 +$ etc. setzt. Dadurch findet man $A = \frac{1}{4} \frac{r^2 L\, \text{Cos.}^2 v}{g\, \varrho^3}$; aber B bleibt, wenn man die Coefficienten von x^4 gleich setzt, unbestimmt, und muſs erst dadurch gefunden werden, daſs man die folgenden Glieder betrachtet, die $\frac{B}{A} = \frac{\frac{2\, n^2\, r^2}{g\, l}}{5 - 8.\frac{C}{B}}$

$\frac{C}{B} = \frac{2\, n^2\, r^2}{g\, l \left(7 - 10.\frac{D}{C}\right)}$ und so weiter geben; hieraus erhält man B in einen Kettenbruch verwandelt und dann auch die übrigen Coefficienten.

Diese Oscillationen der dritten Art hängen also von der Tiefe des Meeres ab, und würden selbst auf einer ganz mit Wasser bedeckten Erde sehr verschieden seyn, je nachdem die Wasserschicht mehr oder minder tief ist. Diese Ungleichheit ist so groſs, daſs zum Beispiel für $l = \frac{1}{722{,}5}\, r$, welches $= 0{,}4\, \frac{n^2\, r^2}{g}$ ist, die ganze Fluthhöhe unter dem Aequator bei Neumond und Vollmond 34 Fuſs 3 Zoll, bei doppelt so groſser Tiefe dagegen 5 Fuſs 10 Zoll wird. Wenn die Tiefe des Meeres gröſser angenommen wird, so nimmt die Fluthhöhe ab, aber die Grenze dieser Abnahme ist diejenige Höhe = 36, 4 Zoll, welche statt fände, wenn das Meer in jedem Augenblick die Gestalt des Gleichgewichts annähme.

Vergleichung der Theorie mit der Beobach

26. Die schönen, lange fortgesetzten Beobachtu welche im Anfange des vorigen Jahrhunderts in Brest stellt waren, gaben LAPLACE schon im 4. Buche der Mé leste Gelegenheit, die Theorie mit der Erfahrung zu ve chen; aber noch bessere Vergleichungen haben sich späte geboten, da seit 1806 die Beobachtungen in Brest auf das fältigste fortgesetzt werden. Diese neuen Vergleichunge vorzüglich darauf gerichtet, die Verschiedenheiten kenn lernen, welche die Fluthen, deren Periode ungefähr ei ber Tag ist, darbieten. LAPLACE macht über die Zusam stellung der dazu auszuwählenden Beobachtungen folgend merkung.

Wenn[1] man die Gesetze dieser Oscillationen aus de obachtungen kennen lernen will, so muſs man nur die der *einen* Fluth über eine der nächsten Ebben in Betrac ziehen, da nach jedem vollen Tage die Oscillationen der z ten Art dieselben oder nahe dieselben sind; man muſs f gleich viele Fluthen, die mit den Syzygien und mit den draturen der beiden Aequinoctien und der beiden Solstitien bunden waren, in Betrachtung ziehen, um den Einfluſ ungleichen Declinationen als aufgehoben ansehen zu kön und um auch den Einfluſs zu beseitigen, den die ungleiche fernung des Mondes von der Erde hat, muſs man um Aequinoctium oder Solstitium drei Syzygien nehmen und Werth des mittleren verdoppeln, weil der Mond allema zwei auf einander folgenden Syzygien in gerade entgege setzten Beziehungen in Hinsicht auf seine Annäherung Erde oder Entfernung von der Erde ist. Nach diesen R hat BOUVARD unter LAPLACE's Leitung die von 1807 bis in Brest angestellten Beobachtungen zusammengestellt, folgende Mittelzahlen gefunden.

I. Bei *den Aequinoctial-Springfluthen*, steigt die N mittagsfluth über die Früh-Ebbe am Tage vor dem zygium 5,546 Meter.

am Tage des Syzygii	6,094
am ersten Tage nachher	6,387,

[1] Méc. cél. Livre V. chap. 2. 3.

am zweiten Tage nachher 6,343 Meter.
dritten — — 6,081.
vierten — — 5,491.

Um diese Beobachtungen und so auch die folgenden in einer, alle umfassenden Formel auszudrücken, nimmt LAPLACE an, daſs die Höhe der vollen Fluth durch $\alpha - \beta\,(t-y)^2$ dargestellt werde, wo also α die Höhe der höchsten Fluth über den Mittelstand des Wassers bedeutet, t ist die Zeit nach dem Syzygio und y die Zeit, um welche die stärkste Wirkung der Gestirne dem Syzygio folgt. Dann muſs die tiefste Ebbe, welche irgend einer Fluth um $\frac{1}{4}$ Tag vorangeht, durch $-\alpha + \beta\,(t-y-\frac{1}{4})^2$ dargestellt werden, und die ganze Fluthhöhe ist also $= 2\,\alpha - \frac{\beta}{32} - 2\beta\,(t-y-\frac{1}{8})^2$ die vorigen Beobachtungen geben nun, wenn man Rücksicht darauf nimmt, daſs die Fluth am Tage der Syzygien im Mittel nicht genau mit dem Syzygio selbst zusammentraf $2\,\alpha = 6{,}4046$, $2\,\beta = 0{,}1412$.

Die Beobachtungen werden daher durch $6{,}4024 - 0{,}1412\;(t - 1{,}605)^2$ dargestellt, und $1{,}605 - \frac{1}{8} = 1{,}480$ ist die Zeit der stärksten Wirkung der Gestirne in Brest nach den Syzygien, die höchste Fluth tritt 1,611 Tag nach dem Neu- oder Vollmond ein, und ist = 6,402 Meter. Alles hier in Beziehung auf die Aequinoctial-Springfluthen.

Für die Quadraturen gelten nachher ähnliche Formeln, nur ist da die täglich mehr zunehmende Höhe der Fluth $= \alpha + \beta\,(t-y)^2$, der Ebbe $= -\alpha - \beta\,(t-y+\frac{1}{4})^2$, wenn die Höhe der Fluth über der *nächst folgenden* Ebbe beobachtet ist, also die ganze Fluthhöhe $= 2\,\alpha + \frac{\beta}{32} + 2\beta\,(t-y+\frac{1}{8})^2$. Dieses Gesetz des Wachsens, dem Quadrate der Zeiten gemäſs, kann aber nur auf die dem Maximum oder Minimum nächsten Tage angewandt werden.

II. *Die Solstitial-Springfluthen* geben folgende Höhe der Nachmittagsfluth über die Früh-Ebbe:

am Tage vor den Syzygien 5,042. Meter
am Tage der Syzygien 5,398.
am ersten Tage nachher 5,583.
am zweiten — — 5,569.
am dritten — — 5,398.
am vierten — — 5,069.

Die Formel $5{,}5956 - 0{,}0866\ (t - 1{,}672)^2$ *stellt* Beobachtungen mit Rücksicht auf den Umstand dar, da Syzygium im Mittel nicht mit der Zeit der höchsten *Flu* sammentraf, und die vollständigste Wirkung tritt bei der stitien 1,547 Tage nach den Syzygien ein.

Die Vergleichung dieses Resultates mit dem vorigen den Einfluſs der Declinationen der Gestirne, indem die Sp fluthen nur 5,6 Meter sind, wenn Mond und Sonne so zie ihre gröſsten Declinationen haben, dagegen 6,4 Meter, beide dem Aequator nahe sind. Dieser Unterschied ist s stimmt auffallend, daſs wenn man auch nur die einzelnen betrachtet, das Mittel aus den sechs Aequinoctial-Springfl selbst desjenigen Jahres, wo es am geringsten ausfällt, viel gröſser ist, als das gröſseste unter den Mitteln au Solstitial-Springfluthen.

III. *Für die Aequinoctial-Nippfluthen* sind die U schiede zwischen der Morgenfluth und der Nachmittags- genommen. Hier sind nur vier Tage aufgeführt, wei entfernteren Tagen das Gesetz, daſs die Höhen ein den (draten der Zeit folgendes Gesetz haben, hier, wo die Ae rungen stärker sind, nicht mehr anwendbar seyn möchte

Die mittlere ganze Fluthhöhe war am Tage der (dratur = 3,079 Meter

einen Tag nachher	= 2,438.
zwei Tage nachher	= 2,446.
drei — —	= 3,095.

Die Formel ist $2{,}3610 + 0{,}323\ (t - 1{,}3846)^2$ und die ringste Fluth ist also 1,509 Tage nach der Quadratur 2,36 Meter hoch.

IV. Eine gleiche Betrachtung der *Solstitial-Nippflut* ergiebt: die Höhe am Tage der Quadratur 3,447 Meter

1 Tag nachher	3,163.
2 Tage —	3,143.
3 Tage —	3,425.

Das Minimum dieser Fluthen trifft daher 1,513 Tage n der Quadratur und ist = 3,117 Meter. Die Formel $3{,}117 + 0{,}141 \cdot (t - 1{,}388)^2$; das Minimum der Fluthen fo also fast genau eben so lange nach den Quadraturen als c Maximum nach den Syzygien.

Auch hier zeigt sich der Einfluſs der Declination der G

stirne, welche bei den Solstitien die Nippfluthen nicht zu der Kleinheit gelangen läfst, die sie bei den Aequinoctien haben, weil bei den Aequinoctial-Nippfluthen die Wirkung des Mondes, als des am meisten wirkenden Körpers, durch seine starke Declination vermindert wird, statt dafs sie bei den Solstitialquadraturen, wo der Mond sich ungefähr im Aequator befindet, mächtiger ist.

27. Die theoretischen Untersuchungen setzten die Erde als ganz bedeckt vom Wasser voraus und ihnen zu Folge müfste die Zeit der Fluth in einer genauen Uebereinstimmung mit der Culmination des Gestirns stehen. Da aber auf der Erde die Fortpflanzung der Bewegung des Meeres offenbar durch die Unregelmäfsigkeit der Ufer und Begrenzungen desselben gestört wird, so läfst sich leicht einsehen, dafs der Factor Cos. $(2nt + 2\pi - 2\psi)$ die Form Cos. $(2nt - 2\pi - 2\psi - 2\lambda)$ haben und λ für jeden Ort einen andern Werth erhalten wird.

Laplace zeigt in seinen neuern theoretischen Untersuchungen, dafs man, wenn für die Declination der vermittelst des Fortrückens in der Bahn ausgedrückte Werth gesetzt wird, folgendes als den Ausdruck für die Kräfte, welche Oscillationen, deren Periode ungefähr ein halber Tag ist, bewirken, finde:

$$\frac{AL}{r^3}\,\text{Cos.}^4\, \tfrac{1}{2}\varepsilon\ \text{Cos.}\,(2nt + 2\pi - 2mt - 2\lambda)$$

$$+ \tfrac{1}{4}\,\frac{BL}{r^3}\,\text{Sin.}^2\,\varepsilon\ \text{Cos.}\,(2nt + 2\pi - 2\gamma);$$ hier ist der Halbmesser der Erde $= 1$, die Entfernung der Sonne $= r$, die Masse der Sonne $= L$, die Neigung ihrer scheinbaren Bahn gegen den Aequator $= \varepsilon$; ϑ das Complement der Breite des Ortes; $nt + \pi$ der Stundenwinkel des Aequinoctialpunctes oder allgemein des Punctes, wo die Bahn des Gestirns den Aequator schneidet; mt ist die mittlere Bewegung der Sonne. Die Wirkung des Mondes würde durch zwei ganz ähnlich gebildete Glieder ausgedrückt, in denen r', L', ε' und so ferner in Beziehung auf den Mond eben das bedeuten, wie r, L, ε in Beziehung auf die Sonne. Die vier constanten Gröfsen A, B, λ, γ müssen aus den Beobachtungen bestimmt werden, und die Formel für die Wirkung des Mondes scheint neue vier constante Gröfsen A', B', λ', γ' herbeizuführen. Aber da das zweite Glied von der Schnelligkeit der eignen Bewegung des Gestirns unabhängig ist, und der Durchschnittspunct des Aequators mit

der Mondsbahn ohne Bedenken als ruhend angesehen w kann, so kann man $B' = B$ und $\gamma' = \gamma + \delta$ setzen, δ die Rectascension des Knotens der Mondsbahn und de quators ist, das heifst, man darf annehmen, dafs der Theil der Fluth, der von dem Fortrücken des Gestirns au ner Bahn unabhängig ist, bei beiden Gestirn gleich seh zögert und auch bei beiden in gleichem Mafse durch L täten verstärkt oder geschwächt wird. So sind also noch Constanten A, A', B, λ, λ' und γ aus den Beobachtung bestimmen. Man darf ferner wagen, diese so an einand knüpfen, dafs man $A = (1 + m x) B$, $A' = (1 + m'$ $\lambda = \gamma - m y$, $\lambda' = \gamma - m' y$ setzt; die Beobacht zeigen, dafs diese Voraussetzung sehr nahe der Wahrhe mäfs ist, und es brauchen also nun nur vier Gröfsen B, γ x, y aus den Beobachtungen hergeleitet zu werden.

Da in diesen Formeln das Glied, welches von m t u hängig ist, denjenigen Theil der Wirkung ausdrückt, di fände, wenn das Gestirn nach einer ganzen Rotation der wieder im Meridiane stände, oder gar nicht am Himmel rückte, so erhellet leicht, dafs die eigene Bewegung zur mehrung der Fluth beiträgt, wenn $A > B$ ist: denn man annehmen, dafs für $m = 0$, $A = B$ seyn würde.

Unter den vier Gröfsen B, γ, x, y läfst sich aber noc eine y durch eine der Wahrheit nahe kommende Betrach wegschaffen. Es erhellet nämlich leicht, dafs wegen des z lich kleinen Factors $\text{Sin.}^2\,\varepsilon$, das erste Glied in unserer (chung das bedeutendste ist, dafs also die Zeit der Fluth vor lich vom ersten Gliede abhängt; für die Zeit der vollen F mufs also $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m\,t - 2\,\lambda$ wenig von einem raden Vielfachen des ganzen Umfangs abweichen, und bei Syzygien mufs dieses zugleich auch für den Mond oder $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m'\,t - 2\,\lambda'$ statt finden. Hierdurch fir sich Mittel, die Zahl der zu bestimmenden Gröfsen noch eine zu vermindern, und wenn man dann die sehr unbed tenden Glieder wegläfst und die Glieder, die sich in ei Mittel aus vielen Beobachtungen, als bald + bald — werd compensiren, wegläfst, so erhält man aus einer Anzahl i Beobachtungen folgende Formeln, in welchen P die Sum aller $\text{Cos.}^2\,v$ in den Aequinoctial-Syzygien, Q die Summe ler $\text{Cos.}^2\,v$ in den Solstitial-Syzygien, P, die Summe a

$\mathrm{Cos.}^2\, v$ in den Aequinoctial-Quadraturen, Q, die Summe aller $\mathrm{Cos.}^2\, v$ in den Solstitial-Quadraturen in Beziehung auf $v =$ Declination der Sonne bedeuten, und P'; Q'; $P'_{,}$; $Q'_{,}$ eben die Bedeutung in Beziehung auf den Mond haben; — der Factor $1 + 0{,}02734$ bei den Syzygien und $1 - 0{,}02734$ bei den Quadraturen entsteht durch die Rücksicht auf die unter dem Namen Variation des Mondes bekannte Ungleichheit seiner Bewegung.

Für die Aequinoctial-Syzygien

$$2\, i\, \alpha = 2\, \frac{A\, L\, P}{r^3} + 2\, A'.\, 1{,}02734\, \frac{L'\, P'}{r'^3}$$

$$- (A - B)\, \frac{L}{r^3} (P - Q) - (A' - B)\, 1{,}02734\, \frac{L'}{r'^3} (P' - Q');$$

für die Solstitial-Syzygien

$$2\, i\, \alpha = 2\, \frac{A\, L}{r^3}\, Q + 2\, A'.\, 1{,}02734\, \frac{L'}{r'^3}\, Q'$$

$$+ (A - B)\, \frac{L}{r^3} (P - Q) + (A' - B)\, 1{,}02734\, \frac{L'}{r'^3} (P' - Q');$$

für die Aequinoctial-Quadraturen

$$2\, i\, \alpha = 2\, A'.\, 0{,}97266\, \frac{L'}{r'^3}\, Q'_{,} - 2\, A\, \frac{L}{r^3}\, P_{,}$$

$$+ (A' - B)\, 0{,}97266\, \frac{L'}{r'^3} (P'_{,} - Q'_{,}) + (A - B)\, \frac{L}{r^3} (P_{,} - Q_{,});$$

für die Solstitial-Quadraturen,

$$2\, i\, \alpha = 2\, A'.\, 0{,}97266\, \frac{L'}{r'^3}\, P'_{,} - 2\, \frac{A\, L}{r^3}\, Q_{,}$$

$$- (A' - B)\, 0{,}97266\, \frac{L'}{r'^3} (P'_{,} - Q'_{,}) - (A - B)\, \frac{L}{r^3} (P_{,} - Q_{,}).$$

r' ist die mittlere Entfernung des Mondes. Diese Formeln mit den Mitteln aus den Beobachtungen verglichen, geben, wenn $A = (1 + m\, x)\, B$, $A' = (1 + m'\, x)\, B$ gesetzt wird, $m'\, x = 0{,}25291$; $\frac{2\, B.\, L'}{r'^3} = 3{,}79491$ und $\frac{2\, B\, L}{r^3} = 1{,}612572$, also $\frac{L'}{r'^3} : \frac{L}{r^3} = 2{,}35333 : 1$ und daraus die Masse des Mondes $= \frac{1}{74{,}946}$ der Erdmasse. Man kann dann auch den Werth von β (in No [illegible] IV) finden, und dieser ergiebt sich aus den [illegible] er Erfahrung gemäſs, nur bei den

Solstitial-Syzygien und bei den Aequinoctial-Quadrature
wa um $\frac{1}{10}$ zu grofs.

28. Eine ähnliche Vergleichung der Theorie mi
Beobachtungen stellt LAPLACE in Beziehung auf die i
Erdnähe und in der Erdferne angestellten Beobachtunge
Die Aequinoctial-Syzygien, bei denen sich der Mond i
Erdnähe befand, gaben den Werth von $2\alpha = 7{,}209$, fü
Erdferne $2\alpha = 5{,}580$.

Die Theorie dagegen giebt mit Hülfe der vorhin scho
stimmten Constanten den Unterschied dieser Zahlen 1,77,
dafs die Beobachtung 1,63 giebt und LAPLACE wagt nic
entscheiden, ob diese Differenz der Unsicherheit der Beob
tungen zuzuschreiben sey, oder von den nicht ganz vollk
men richtigen Voraussetzungen und den unvollkommenen
proximationen der Theorie abhänge.

LAPLACE vergleicht ferner die Zeit der höchsten F
und tiefsten Ebbe nebst der täglichen Verzögerung mit
Theorie. Die Beobachtung gab: Zeit des niedrigsten W
sers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien 10^h
Morg., am zweiten Tage 10^h 50′ Morg. Zeit des höchsten W
sers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien 4^h 21′
am zweiten Tage 4^h 58′ Ab. Eben die vier Bestimmun
bei den Solstitial-Syzygien 10^h 11′ Morg.; 10^h 52′ Mo
4^h 20′ Ab.; 5^h 1′ Ab.

Bei den Aequinoctial-Quadraturen war Zeit des höchs
Wassers am ersten Tage nach der Quadratur 9^h 30′ Morg.
zweiten Tage 10^h 52′ Morg. Zeit des tiefsten Wassers
ersten Tage nach der Quadratur 3^h 48′ Ab. Am zweiten T
5^h 12′ Ab. Eben die Bestimmungen bei den Solstitial-Qu
raturen 9^h 39′ Morg. 10^h 46′ Morg.; 3^h 57′ Ab; 5^h 4′ Ab

Die Einwirkung der Declinationen auf die Verzögeru
der Fluthzeit ist deutlich sichtbar, wenn sie gleich in Bez
hung auf die Aequinoctial- und Solstitial-Syzygien nur w
nig beträgt. Dieses so wie die vermehrte tägliche Verzög
rung der Fluth, wenn der Mond sich in der Erdnähe befind
ist der Theorie gemäfs; aber dennoch findet LAPLACE, b
einer sorgfältigen Prüfung der Beobachtungen eine kleine A
weichung von der Theorie, die vielleicht andeuten könn
dafs das Princip der Coexistenz der verschiedenen Oscillati
nen nicht strenge richtig wäre. Diese Abweichung beste

darin, dafs, wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Viertelmondsfluthen ableitet, man sie um 13¼ Min. früher findet, als wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Neu- und Vollmondsfluthen ableitet. —

Ich muſs die übrigen Vergleichungen, die kein ganz entschiedenes Resultat geben, weil die zu bestimmenden Gröſsen allzu unbedeutend sind, übergehen, und glaube auch, daſs das Bisherige hinreicht, theils um zu ähnlichen Vergleichungen für andere Orte aufzufordern, theils zu zeigen, was eigentlich mathematische Prüfung einer Theorie heiſst, und wie nur diejenigen Theorien, die zu einer solchen Prüfung Veranlassung geben, den Namen festbegründeter Theorien verdienen.

Nachrichten von einzelnen Merkwürdigkeiten, welche die Fluth an verschiedenen Orten darbietet.

29. Da schon die Theorie angiebt, daſs die täglich zweimal wiederkehrende Ebbe und Fluth selbst auf einer ganz und überall gleich tief von Wasser bedeckten Erde sehr ungleich ausfallen würde, je nachdem diese Wasserschicht mehr oder minder tief wäre, so läſst sich leicht erachten, daſs eine groſse Ungleichheit der Fluthen auf unserer so ganz unregelmässig mit Wasser bedeckten Erde, an verschiedenen Orten statt finden muſs. Laplace bemerkt, es möchten wohl, wenn man alle Länder durchginge, sich alle mögliche Verschiedenheiten finden. Ich kann von diesen mannigfaltigen Erscheinungen, deren sich gewiſs aus Reisebeschreibungen viele sammeln lieſsen, nur einige wenige erzählen.

Im groſsen Südmeere (stillen Meere) ist bei den Societäts-Inseln die Fluth geringe, nach Cook bei Otahaiti nur 1 Fuſs [1]. Bei den Sandwich-Inseln 2 Fuſs 6 Zoll. Dagegen an den Küsten von Neu-Seeland an einigen Orten 5, an andern 10 Fuſs bei Springfluthen; in der Straſse zwischen Neuguinea und Neuholland 11 Fuſs. Auf den freundschaftl. Inseln soll sie 6 Fuſs steigen; in Macao 10 Fuſs [2].

Im Atlantischen Meere steigt sie bei der Insel St. Helena 39 Zoll bei Springfluthen, 20 Zoll bei Nippfluthen nach Maskelyne, bei den Canarischen Inseln 7 bis 8 Fuſs, bei den Azo-

1 Phil. Transact. 1772. p. 357.
2 Woltmann's Schiffahrtskunde S. 221. 224.

ren 5 bis 8 Fuſs; an den Küsten von America ist fast ein so ungleiches Steigen der Fluth wie in Europa, denn wäh die Fluth in Charlestown 6 Fuſs, in Rio Janeiro 8 Fuſs, der Insel Martinique nur 1¼ Fuſs steigen soll, wird sie am St. Johns Fluſs zu 24 Fuſs, an der Mündung des Am nenflusses zu 30 Fuſs angegeben. Am östlichen Ufer de lantischen Meeres scheint die französische und englische K am merkwürdigsten zu seyn. Bei Brest und Cap Lizard s die Fluth bei Springfluthen 18 bis 19 Fuſs, ziemlich eb hoch soll sie in Falmouth und Plymouth und an der gá südlichen Küste Englands steigen; dagegen steigt sie be Insel Guernsey 32 Fuſs, bei der Insel Jersey 38 Fuſs, be Malo 46 Fuſs (ja nach einigen Angaben über 60 Fuſs)[1] bei Cherboury wieder nur 20 Fuſs, bei Dieppe 18 Fuſs, Boulogne und Calais 18 bis 19 Fuſs. Dieses merkwü Anschwellen scheint von nichts anderem herzurühren, als dem Einengen der groſsen aus dem Meere hereindringe Fluthwelle, die gerade bei St. Malo in einen Winkel zus mengedrängt wird.

Eine eben so ungemeine Höhe erreicht die Fluth in Busen, in den die Saverne sich ergieſst; denn statt daſs bei Cap Lizard nur 18 Fuſs, bei St. Iver 22 Fuſs steigt, reicht sie bei Barnstable 26 Fuſs Höhe und bei Milford-ven 36 Fuſs, vor der Saverne bei Hung sogar 45 Fuſs[2]. A hier drängt sich die Fluthwelle, die von Süden in den C zwischen England und Irland eintritt, gegen ein gerade derstehendes Ufer und befindet sich also in ähnlichen Ums den, wie bei St. Malo. Sobald man über diese vorspringe Küste hinaus mehr nördlich geht, so ist die Fluth in Ca gan-Bay nur 20 Fuſs u. s. w.[3] Auch die Küste von Ame bietet ein solches Beispiel dar, indem[4] an der Küste Acadien das Merr bei Springfluthen nur 9 Fuſs steigt, dage

---

1 Mém. de Paris. 1702. Hist. p. 19.

2 Philos. Transact. 1668. p. 812.

3 Wo ich hier keine andre Quelle anführe, habe ich aus W mann's Handb. der Schifffahrtskunde geschöpft, womit noch zu gleichen ist: Romme Tableaux des vents, des marées, et des cour Par. 1817. 2 vol. 8.

4 Nach den Angaben der Encyclopédie ou Dictionaire uni sel. Art. Flux. wo jedoch diese 60 bis 70 Fuſs durch ein: à ce l'on assure, ein wenig zweifelhaft gemacht sind.

im Hintergrunde der Bay die Fluth 60 bis 70 Fuſs Höhe erreichen soll.

Daſs dieses Antreffen an ein gerade entgegen stehendes Ufer die Fluth veranlassen kann, so viel höher zu steigen, scheint mir aus der Beobachtung der Wellen einzuleuchten; denn wenn diese im Freien auch keine sehr erhebliche Höhe haben, so steigen sie an einem steil ihnen entgegen tretenden Einbaue oft bis auf das drei oder vierfache ihrer Höhe, welches ohne Zweifel daher rührt, weil der einmal im Andrängen begriffene Wasserberg sich immerfort heranwälzt, obgleich das Wasser vorne nicht mehr ausweichen kann, wodurch denn diese Anhäufung bewirkt wird.

In der Nordsee vor der Elbe und Weser steigt die Fluth 12 Fuſs, bei Helgoland 6 Fuſs. In den nördlichen Gegenden ist sie auch noch an manchen Orten bedeutend, zum Beispiel in der Nähe des Nord-Caps, etwa 8 Fuſs [1] in der Hudsonsbay 16 Fuſs. Im Mittelländischen Meere ist die Fluth wenig bemerkbar. Bei Neapel beträgt sie kaum 1 Fuſs; bei Toulon, wenn das Wetter ruhig ist, nach D' Angos Angabe 1 Fuſs; in Venedig bemerkt man, wie Toaldo angiebt, regelmäſsig zwei Fluthen, die bei Neu- und Vollmond auf 3 bis 3½ Fuſs steigen, bei den Quadraturen kaum 16 Zoll [2].

Ueber das Strömen und Anschwellen des Wassers in der Ostsee, was man wohl nicht eigentlich ein Fluthen und Ebben nennen kann, hat Schulten Beobachtungen angestellt [3]. Daſs ein gegen die Küsten wehender Wind das Wasser steigen macht, scheint ein Hauptumstand zu seyn; Schulten glaubt dieses Steigen sey ein Vorbote eines solchen Windes. Als Hauptursache der ungleichen Höhe sieht er den ungleichen Luftdruck an, daſs nämlich, wenn ein Theil der Ostsee einen hohen Barometerstand, der andre einen niedrigen Barometerstand hat, der letztere Theil sich zu einem höhern Stande erheben muſs, indem das Wasser da ausweicht, wo der Druck am stärksten ist. Genaue Beobachtungen, daſs das Steigen an

---

1 Abh. der Schwed. Acad. XV. S. 176. Encyclopédie ou dict. univ. art. Flux.

2 Phil. Transact. 1793. p. 168. v. Zachs Mon. Corr. XXVI. S. 146. Phil. Transact. 1777. p. 144.

3 Gilb. Ann. XXXVI. 314.

den Küsten Schwedens nicht bloſs mit einem niedrigen meterstande an eben diesen Küsten, sondern auch mit höhern Barometerstande an der deutschen Küste begleit wesen sey, führt er indeſs nicht an, und also ist nicl schieden, ob diese Ursache, die allerdings eine mitwir seyn mag, die einzige ist.

30. Auf das allmählige Fortschreiten der Fluth, l ders da, wo enge Zugänge sie aufhalten, habe ich schon aufmerksam gemacht. Woltmann's Angaben für die see sind als ein Beispiel sehr belehrend. Kennten w Umstände überall so genau, so würden wir vermuthlich che uns jetzt räthselhaft vorkommende Phänomene vollst erklären können. Ein solches Phänomen scheint mir zun spiel die ungemein schwache Fluth bei Otahaiti, die s heblich von den stärkern Fluthen bei den freundschaftl Inseln und in andern nahe gelegnen Gegenden versch ist. Es läſst sich als möglich denken, daſs an einem Or keine Fluth wäre, wenn dieser Ort seine Fluth durch Canäle erhielte, in deren einem sie nach 6 Stunden, im a nach 12 Stunden zu jenem Orte gelangte; hätten nä dann die Mündungen beider Canäle eine gleichzeitige gleichhohe Fluth, so würde ungefähr die höchste Höh einen Fluthwelle allemal mit der gröſsten Tiefe der ander sammentreffen und ein fast immer gleich hohes Wasser vorbringen.

Schwerer zu erklären ist die höchst sonderbare Ord der Fluthen in Tonking in Ostindien, die von Daven und Knox so beschrieben wird [1]. Jede Fluth dauert 12 S den und jede Ebbe eben so lange, so daſs es in 24 Stu nur einmal Hochwasser wird; ferner finden in jedem M zwei Unterbrechungen der Fluthen statt, wo nämlich gar k Fluth bemerkt wird, und zwischen diesen Zeitpuncten, etwa 14 Tage aus einander sind, erreicht die Fluth am sie ten Tage ihre gröſste Höhe; gleich nach jenen Tagen Fluth ist die Zunahme der Fluthen schwach und gleich vo nen Tagen ist auch die Abnahme der Fluthen nicht mehr heblich, sondern die gröſste Aenderung fällt um die Zeit

1 Phil. Transact. 1684. p. 681. Vergl. auch Mém. de P Tome 7. p. 777. wo von Siam Beobacht. vorkommen.

höchsten Fluthen. Endlich bemerkt man, dafs in der einen Hälfte des Monats der aufgehende Mond, in der andern Hälfte der untergehende Mond die höchste Fluth bringt.

Halley hat diese Beobachtungen sorgfältiger verglichen und giebt an, dafs wenn der Mond im Aequator ist, keine Fluth bemerkt werde, dafs sie also am höchsten steige, wenn der Mond die gröfste Declination hat. Er findet ferner, dafs der in den nördlichen Zeichen stehende Mond bei seinem Erscheinen über dem Horizonte die Fluth bringt, so dafs es höchstes Wasser ist wenn er untergeht, das Umgekehrte findet statt wenn er in dem südlichen Zeichen steht. Wenn die Fluthen ihre gröfste Höhe erreichen, steigt das Wasser 9 Fufs über das Mittel und fällt 9 Fufs unter das Mittel. Halley versucht keine Erklärung, macht aber aufmerksam darauf, dafs diese Fluthen wahrscheinlich in den Jahren stärker seyn müssen, wo der Mond sich bis zu 28° vom Aequator entfernen kann, als in den Jahren, wo er kaum 19° Declination erreicht. Laplace bemerkt über diese Erscheinung, dafs die zweimaligen Fluthen am Tage ganz unmerklich werden müfsten, wenn sie von zwei Seiten her einträten und sich so wie ich oben erwähnte, ganz zerstörten; in dem Falle blieben also nur die Oscillationen der zweiten Art übrig, die freilich nach den Formeln verschwinden, wenn die Declination des Mondes = 0 ist.

Einigermafsen hiermit verwandt scheint ein bei den Orkney-Inseln beobachtetes Phänomen zu seyn[1], wo nämlich, an der Westseite von Long-Island, vier Tage vor und nach den Quadraturen zwar das Steigen und Fallen des Wassers ordentlich wechselt, aber der Fluthstrom und Ebbestrom 12 Stunden lang die eine, und die übrigen 12 Stunden die entgegengesetzte Richtung hält, statt dafs in den Tagen um die Syzygien sich mit dem Steigen und Fallen auch die Richtung des Stromes alle 6 Stunden ändert. Auch dies scheint doch auf einem bei den Quadraturen merklicher werdenden Einflusse der täglich nur einmal wiederkehrenden Oscillationen zu beruhen, die freilich hier nicht auf eine kenntliche Weise von den Declinationen des Mondes abzuhängen scheinen[2].

---

1 Phil. Trans. 1665. p. 53.

2 Mir ist nicht bekannt, ob neuere Beobachtungen diese Angaben bestätigt haben.

31. An unsern deutschen Küsten, an der Nordsee
die Sturmfluthen merkwürdige, oft Unglück drohende ur
weilen Unglück bringende Ereignisse. Sie sind so deutlic
gleiter der Nordweststürme, daſs man diese wohl unbede
als ihre Ursache ansehen kann. Nach der Bemerkung de
wohner jener Gegend sind die Stürme am gefährlichsten
von Südwest über Westen nach Nordwest gehen, und sie
am gefährlichsten dann, wenn sie sehr lange mit ungeschv
ter Gewalt dauernd gegen die Zeit des höchsten Wasser
voller Wuth fortwähren. Diese Winde, am meisten der I
westwind, treiben das Wasser gegen die deutschen Ufer
drängen es in die Mündung der Ströme hinein; sie hir
das Wasser, der Ebbe zu folgen und veranlassen daher,
das Wasser oft die gewöhnliche Regel der Fluth und Ebbe
befolgt, sondern selbst wenn es Ebbe werden sollte, st
Die niedrigen Marschländer jener Gegenden sind mit Deic
deren Höhe 15 bis 20 Fuſs, ja an Stellen, die dem Wellensch
sehr ausgesetzt sind, bis 24 Fuſs über die mittlere Fluth
trägt, umgeben, aber dennoch ist es nicht selten, daſs
Wellen über diese Dämme hinüberschlagen und das Beis
des vorletzten Winters hat gezeigt, daſs diese Höhe nicht
reicht, um selbst ein fortwährendes Ueberströmen zu hind

Die Gefahr, die bei diesen Stürmen droht, besteht, selbst w
das Wasser nicht über die Dämme strömt, darin, daſs die gr
Kraft der Wogen, die selbst Granitblöcke von mehrern Centn
fortwälzt, indem die Wellen überstürzend auf den Abhang
Deiches schlagen, Löcher auswühlt, die endlich zu einem Dur
bruche Veranlassung geben können. Dieser Gefahr muſs
gut angelegter, hoher, starker und hinreichend flach dossi
Deich widerstehen, und seit vielen Jahren ist auf die Art
den deutschen Ufern der Nordsee kein solcher Deichbruch e
standen. Wenn er entsteht, wie es ehemals öfter der Fall g
wesen ist, so pflegt das an einer einzelnen Stelle durchstr
mende Wasser mit so ungeheurer Gewalt den übrigen Th
des Deiches wegzureiſsen, daſs oft ein tief in den festen Bod
des Landes selbst eingewühlter See von mehreren Morgen La
des groſs, auch nachdem die Fluth sich wieder verlaufen h
übrig bleibt. Das so einstürzende Wasser reiſst, wie ein g
waltiger Strom, alles mit sich fort, und bringt gewöhnlich gan
Gegenden in das gröſseste Unglück. Nicht ganz so gefährlic

ist es, wenn die Deiche überall gleichförmig gut und sicher sind, aber die Fluth so hoch steigt, daſs sie ganze Deichstrecken ziemlich gleichmäſsig überströmt, so wie es im vorletzten Winter an manchen Orten geschah, die daher auch weniger gelitten haben. Dann wird zwar auch durch den Uebersturz der obere Theil des Deiches beschädigt, aber wenn der überstürzende Strom überall ziemlich gleich ist, so hat er wenigstens nicht ganz die Gewalt, wie im vorigen Falle, und es ereignet sich dann wohl, weil der ungemein hohe Stand der Fluth doch nicht lange dauert, daſs zwar das Land mit Wasser bedeckt, aber doch theils nicht so hoch und gewaltig überfluthet wird, theils wenigstens gegen die nächsten Fluthen, die bei fortwährend stürmischem Wetter auch noch hoch zu steigen pflegen, ziemlich gedeckt bleibt.

Seit dem Jahre 1717, wo am Weihnachtstage alle Marschen des nördlichen Deutschlands durch eine verheerende Ueberschwemmung furchtbar litten, hatten die Gegenden in der Nähe der Nordsee keine Ueberschwemmung erfahren. Die hohen Fluthen in den spätern Jahren des vorigen Jahrhunderts, unter denen die vom 19. December 1792 und 3. März 1793 (sie stiegen 19 Fuſs über die gewöhnliche Fluthhöhe) am meisten wegen der drohenden, aber glücklich abgewandten Gefahr im Andenken sind, hatten, ungeachtet der furchtbaren Wuth des Sturmes, die Deiche nicht überstiegen, und man glaubte schon die Grenze der Fluthhöhe zu kennen und den Fluthen durch hinreichend hohe Dämme genügend entgegengebaut zu haben; aber der seltene Fall, daſs ein ungewöhnlicher Sturm mit den allerschlimmsten Stellungen des Mondes zusammenträfe, hatte sich, so viel man wuſste, noch nicht ereignet, und dieser seltene Fall traf am 2. und 3. Februar 1825 ein. An diesen Tagen fielen nämlich Vollmond, Erdnähe des Mondes und beinahe auch Durchgang des Mondes durch den Aequator so nahe zusammen, daſs schon dadurch die Springfluth fast die gröſste mögliche Höhe erreichen muſste; indeſs, dieser Fall war nicht unerhört, sondern er trifft im Laufe einiger Jahre nach gewissen Regeln immer von Zeit zu Zeit ein und ereignete sich in den ersten Tagen des März wieder; aber unglücklicher Weise vereinigte sich mit dieser Springfluth ein mit Gewitter begleiteter Sturm von ausgezeichneter Heftigkeit, der die zahlreichen Unglücksfälle zur Folge hatte, welche sich an jenen Tagen an allen

See- und Flufsküsten von Flandern bis nach Holstei eigneten.

32. Ein noch schnelleres Steigen des Wassers, das immer nur wenige Minuten dauern und dann mit starkem len wechseln soll, wird oft bei den Erdbeben beoba Michell führt zum Beispiel[1] an, dafs bei dem fürchterl Erdbeben in Lissabon am 1. November 1755 die Sände anfangs vom Wasser entblöfst zeigten und dann plötzlich 50 Fufs hohe Welle aus dem Meere heranstürzte. Aehnl wenn gleich weit geringere, aber gleichfalls schnell wechs Schwankungen wurden an dem Tage jenes Erdbebens sell sehr entfernten Meeren, an den englischen und holländis Küsten, ja selbst bis nach America hin wahrgenommen[2]. den Küsten des Canals stiegen diese schnell wechselnden Sch kungen doch bis auf 6 Fufs.

33. Auch in den Strömen bietet die Fluth manche m würdige Phänomene dar. Am Meeresufer theilt sich der raum zwischen zwei Fluthen ziemlich gleich in Fluth und E in den Flüssen dagegen dauert an jedem Orte die Ebbe ger als die Fluth. Der in den Flüssen allemal sehr merkl Fluthstrom und Ebbestrom ist anfangs, kurz nach dem W sel des Stroms langsam und wird gegen die Mitte der F und Ebbe stark, so dafs nach Saumarez[3] in der Themse London der Fluthstrom beinahe 5 Fufs, der länger anhalte Ebbestrom $3\frac{1}{2}$ Fufs in der Secunde zur Zeit der gröfsten Sch ligkeit durchläuft. Höher hinauf in den Strömen verliert der Fluthstrom und die Fluth besteht nur noch in einem A stauen, oder Anhalten des Ebbestromes.

Je höher man in den Strömen hinauf kommt, desto s ter kommt die Fluth dort an, daher sagen die Schiffer, w sie mit anfangender Fluth stromaufwärts segeln, dafs sie Fluth mitbringen. Dagegen kommt ein den Strom hinabf render Schiffer, der mit der Ebbe fährt, der Fluth entge und geniefst die Vortheile der Ebbe nicht so lange, weil allmählig an Orte kommt, die schon Fluth haben, wenn hö hinauf, wo er vor einigen Stunden abfuhr, die Ebbe noch dau

1 Phil. Transact. 1760. p. 566.
2 Ph. Tr. 1755. p. 351. sq. von Zach's Mon. Corr. XXVI. 1
3 Phil. Trans. 1726. p. 68.

Die Fluthwelle setzt ihren Lauf stromaufwärts noch fort, während in der Mündung schon Ebbe eintritt, und daher kann es sich zum Beispiel bei Sturmfluthen ereignen [1], daſs die Fluthwelle erst in den obern Gegenden ankommt wenn der Sturm sich schon gelegt hat. Die sehr hoch angeschwellte Fluthwelle fängt dann zwar an zum Theil zur Mündung zurückzuströmen, aber zum Theil setzt sie ihren Sturz auch oberwärts fort.

Die Fluth erstreckt sich oft sehr tief in die Ströme hinein, wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Ströme an der Mündung sehr wenig Fall haben. Im Amazonenflusse soll die Fluth noch 200 französ. Meilen von der Mündung merklich seyn.

34. Oertliche Umstände bringen auch hier manche nicht so leicht zu erklärende Verschiedenheiten hervor. Ein Beispiel davon geben die *Leakies* in dem Flusse Forth [2]. Hier ist, nach Wrights Erzählung zwischen Queens-Ferry (7 engl. M. oberhalb Leith) und einem Orte, den er the house of Manor nennt, eine solche Krümme, daſs man auf dem Strome 25 engl. M., dagegen in gerader Linie nur 4 engl. M. hat. In dieser Gegend wird die Fluth einige Zeit durch ein Sinken des Wassers und die Ebbe durch ein Steigen des Wassers unterbrochen, und nachher geht in jenem Falle die Fluth, in diesem die Ebbe weiter fort. Diese Erscheiuung fängt gewöhnlich bei Queens-Ferry an, aber erst an einem höhern Puncte, wenn der Strom viel Wasser hat oder Springfluthen sind; dagegen erstreckt sie sich bei höherem Stromwasser oder Springfluthen höher hinauf bis oberhalb Stirling. Wright sucht die Ursache der Erscheinung nicht auf; sie muſs aber wohl darin liegen, daſs die Fluthwelle sich zertheilt in der Krümme vorwärts stürzt, was sich vielleicht durch die Zurückwerfung von den Ufern erklärt.

35. Ein sonderbares mit dem Einsturz der Fluth in einigen Strömen verbundenes, jedoch nur unter gewissen Umständen eintretendes Phänomen ist das, was man in der Dordogne *Mascaret*, an andern Orten la Barre, *the Bore* nennt. Der Mascaret oder die *Mascara* wird in der Dordogne [3] nur

1 Ein solches Beispiel gab die Fluth am 13. Dec. 1747 in Hamburg. Büsch's Wasserbaukunst. I. S. 214.

2 Ph. Trans. 1750. 412.

3 G. XXXIII. 407.

beobachtet, wenn das Wasser des Stromes niedrig ist, aber bei jeder Fluth. Er entsteht in geringer Entfernun dem Puncte, wo die Dordogne sich in die Garonne er und zeigt sich da als eine Wassermasse, die zuweilen nu der Gröfse einer Tonne. zuweilen aber von der Gröfse kleinen Hauses ist. Diese Wassermasse wälzt sich sehr sc dicht am Ufer, mit grofsem Getöse den Strom hinauf und wenn sie gegen harte Körper schlägt, zeigt sie ei grofse Gewalt, dafs sie oft die steinernen Einbaue zertört Schiffe versenkt oder zerbricht. An gewissen Stellen zer sich der Mascaret in Wellen, weiterhin ist er wieder eine störende Wassermasse u. s. w. Die Ursache dieser Ers nung scheint in dem heftigen Einsturz der Fluth in die Dord zu liegen. Indem nämlich die Fluth zuerst in den weiten resarm, die Gironde, und von da in die auch noch recht b Garonne sehr frei eintritt, findet sie sich an der Mündung viel engeren Dordogne, die sich gerade in der bisherigen R tung der einstürzenden Fluth darbietet, plötzlich so umsch sen, dafs sie in dem engen Raume hoch anzuschwellen ge thiget ist, um das Wasser fortzuführen, was die grofse, n drängende Fluthwelle immer neu zuführt. So entsteht di einstürzende Wasserberg, der um so mächtiger ist, je wen Wasser der Strom selbst entgegenführt, und der in der Dordo mächtig ist, ohne es in der obern Garonne zu seyn, weil d in schiefer Richtung eintretend von dem, seine vorige Ri tung verfolgenden Wasser weniger empfängt.

Sehr ähnlich sind die Umstände in der Saverne, wo a die in einem breiten Meeresarme eintretende Fluth sich pl lich in ein viel engeres Flufsbette stürzt, und hier ist es n weniger zu verwundern, wenn die so ungemein hoch, bis 45 Fufs steigenden Springfluthen sich wie ein Wall gegen 9 F hoch gethürmt fortwälzen. In der Gegend der Saverne, dies geschieht, fluthet es nur 2 Stunden, und doch erreicht Fluth eine Höhe von 18 Fufs, und jener Einsturz ist mit zerstörendsten Wirkung für Schiffe, die nicht in Sicherheit g bracht sind, verbunden[1].

Sehr ähnlich ist auch **la Barre** oder die **Prorora**

---

1 Ph. Tr. 1668. p. 812.

2 Annales maritimes 1824. Juill. et Aout. G. XXXIII. 410.

welche schon CONDAMINE kannte. Nach NOYER's Beschreibung scheint sie aber aus dem Zusammentreffen der stark eindringenden Fluth mit dem Stromwasser des Amazonenflusses zu entstehen, wodurch „ein Kampf entgegengesetzter Kräfte, unterbrochene Wellen und heftige Stöfse von OSO und WNW hervorgebracht werden.“ Auch diese Erscheinung ist an seichten Stellen am stärksten.

Auch an der Mündung des Ganges soll eine ganz ähnliche Erscheinung vorkommen, und namentlich in dem Calcutta-River da anfangen, wo der Strom sich sehr verengert. *The Bore*, wie die Erscheinung dort heifst, durchläuft 70 engl. Meilen in 4 Stunden (das hiefse über 20 Fufs in der Secunde), und die Schiffe müssen sich in die Gegenden des Stroms begeben, wo der Zusturz der Fluth minder mächtig ist. Wenn es diese Mündung des Ganges also war, in welcher ALEXANDER zum Indischen Meere hinabschiffte, so mag die Beschreibung, die CURTIUS von dem Zustande seiner Flotte während dieser Fluthen macht, doch nicht so übertrieben seyn, wie sie sonst wohl scheinen könnte. Denn wie so unbedeutende Schiffe hin und her, einander entgegen und auf Sandbänke und Untiefen geschleudert werden mochten, kann man sich vorstellen.

36. Das was in diesen Fällen die einstürzende Fluth bewirkt, wenn sie sich plötzlich in ein enges Bett eingeengt findet, scheint am 18. November 1824 in Petersburg die Sturmfluth gethan zu haben. Wenn hier bei einer genau die Richtung des Finnischen Meerbusens treffenden Richtung des Sturmes die Sturmfluthwelle sich in den Meerbusen stürzt, und sich nun in der Newa eingeengt findet, wo das zustürzende Wasser durch die Masse und Schnelligkeit des andringenden Wassers stark anzuwachsen genöthigt ist, so können gar wohl die plötzlichen und furchtbaren Erscheinungen entstehen, die uns in den Zeitungen erzählt wurden. Auch die Seltenheit dieser Erscheinung in Petersburg läfst sich dadurch wohl erklären, indem vermuthlich eine sehr bestimmte Richtung des Windes erfordert wird, wenn sie eintreten soll. *B.*

Ebbe und Fluth in der Atmosphäre. S. *Atmosphäre.*

Ebene.

Ebene Fläche; *Planum;* Plan; *Plane.*

Die Bestimmung dessen, was man im Allgemeinen u
einer Ebene versteht, wenn man z. B. von Ebenen redet, w
Puncte und Linien fallen, welche von Linien geschnitten v
den, und gegen einander eine gewisse Neigung oder Richt
haben, gehört in die Geometrie. Aus dieser entlehnt dann
Naturlehre die erforderlichen Sätze, wenn in derselben z
von den Ebenen der Spiegel, denen, worin sich gewor
Körper bewegen, worauf das Auge gesehene Gegenstände p
jicirt u. v. a. die Rede ist. In der physischen Geographie
hen die Ebenen den Bergen und Thälern entgegen, und v
steht man darunter solche ausgedehnte Flächen des Erdbal
auf welche überall die Falllinie normal gerichtet ist, also
rizontale Ebenen. Vorzüglich bedient man sich in der th
retischen Mechanik oder der Dynamik der Ebenen als ei
Hülfsmittels, um die Richtung der verschiedenen, einen
gebenen Punct sollicitirenden Kräfte und die hiernach ents
hende Bahn desselben zu construiren. Sehr häufig denkt n
sich alsdann unter den Ebenen solche Flächen, welche den
wegten Körpern einen unüberwindlichen Widerstand entgeg
setzen, z. B. wenn von dem Drucke eines Körpers gegen d
selben und vom gänzlichen oder partiellen Ruhen eines solc
auf ihnen die Rede ist, in welchem letzteren Falle man
Richtung der Bewegung in Beziehung auf die Ebene zu z
legen pflegt. Wird dann bei der Untersuchung der Bewegun
gesetze von der Schwere der Körper, vermöge welcher sie
lothrechter Richtung drücken oder zu fallen sollicitirt werd
abstrahirt, so kommt die Richtung der Ebenen gegen die Fa
linie nicht in Betrachtung, wie dieses im Artikel *Bewegu*
im Ganzen geschehen ist[1]; nimmt man aber hierauf Rücksic
so sind die Ebenen entweder als *horizontale* oder als *genei*
näher zu betrachten.

A. Horizontale Ebene.

Weil die Richtungslinie des Falles der Körper auf die h
rizontale Ebene normal ist, so kann ein auf derselben ruhend

1 Vergl. Th. 1. S. 959.

Körper nicht fallen, sondern wirkt bloſs durch seinen Druck, vorausgesetzt daſs die Ebene selbst fest ist und durch die Trennung ihrer Theile die angegebene Natur einer Ebene nicht ändert. Soll ein auf derselben ruhender Körper bewegt werden, so zerlegt man die eine oder die mehreren bewegenden Kräfte auf die im Artikel *Bewegung* angegebene Weise, und es ist an sich klar, daſs diejenigen verschwinden müssen, deren Richtung auf die Ebene normal ist. Rücksichtlich der praktischen Anwendung gehört zur Bewegung einer auf der horizontalen Ebene ruhenden Last nicht mehr Kraft, als erforderlich ist, die Trägheit derselben zu überwinden, und sie ist daher um so kleiner, je geringer die verlangte Geschwindigkeit ist, so daſs sie hiernach also verschwindend klein werden kann. Die zur Bewegung derselben in der Praxis wirklich verwandten Kräfte dienen also eigentlich nur zur Ueberwindung der Adhäsion und der Reibung. Uebrigens heiſst eine horizontale Ebene auch eine wagerechte, welches Gehler [1] von dem horizontalen Stande einer gewöhnlichen Waage ableitet, und werden die Werkzeuge, womit man dieselbe prüft, daher auch Bleiwaagen, Schrotwaagen, Wasserwaagen u. s. w. genannt.

B. Geneigte Ebene.

Die *geneigte Ebene,* auch *schiefe Ebene, geneigte oder schiefe Fläche;* planum inclinatum; plan incliné; *inclined plane* genannt, kann zur Erleichterung der Uebersicht aus drei verschiedenen Gesichtspuncten betrachtet werden, obgleich diese keineswegs wesentlich verschieden sind; zuerst wenn man die Gesetze eines auf derselben fallenden oder herabgleitenden, schweren Körpers untersucht, oder diejenigen Modificationen, welche die Gesetze des freien Falles der Körper durch den Widerstand der geneigten Ebene erleiden; zweitens wenn man das Verhältniſs der Kräfte und Gewichte bestimmt, welche bei einem schweren Körper im Gleichgewichte seyn müssen, wenn er durch die geneigte Ebene nur zum Theil unterstützt ist, mithin auf derselben herabzugleiten strebt, und an diesem Herabgleiten gehindert werden oder ruhen soll, womit dann die Frage über die zur Bewegung desselben auf-

1 Wörterb. a. A. II. 651.

wärts der geneigten Ebene erforderliche Kraft zusammenf
und drittens wenn man diejenigen Fälle erörtert, in denen
geneigte Ebene gegen eine gegebene Last bewegt wird.
den beiden ersteren Untersuchungen ist die Neigung der El
durch die unveränderliche Lage der horizontalen Ebene
dingt, bei der letzteren kommt nicht diese, sondern die I
gung gegen eine andere Ebene von willkürlicher Lage ge
die horizontale Ebene in Betrachtung. Ferner sind mit
ersteren Untersuchung die Gesetze des freien Falles zu ge
verbunden, als daſs sie ohne diese verständlich werden kö
te, und man verbindet daher am zweckmäſsigsten die Ges
des freien Falles und des nicht freien oder auf gegebener B
mit einander. Wird aber rücksichtlich auf die dritte Un
suchung eine Bewegung der geneigten Ebene gegen eine ge
bene Last angenommen, so wirkt dieselbe als mechanis
Potenz, und kann daher am besten als solche betrachtet w
den [1], mithin bleibt hier nur der zweite Fall zu unter
chen übrig.

Man pflegt meistens in den Lehrbüchern der Physik
Gleichgewicht zwischen einer gegebenen Last und der Kr
womit dieselbe auf der geneigten Ebene zur Ruhe gebra
wird, auf die Gesetze des Falles auf der letzteren zurück
führen, welche Methode auch einfach und zweckmäſsig
allein man kann auch auf die folgende Weise leicht zu d
nämlichen Ziele gelangen.

Fig. 8. Es sey AC horizontal, AB gegen diese um den Winl
α geneigt, der Durchschnitt eines auf der geneigten Ebene
ruhenden Körpers sey l o K p q dessen Schwerpunct in k lie
so wird dieser in der Richtung km zu fallen streben. Di
Linie läſst sich zerlegen in die componirenden kn und n
wovon die erstere normal auf AB gerichtet ist, und durch d
unüberwindlichen Widerstand derselben = 0 wird, die zwe
aber das Verhältniſs der Kraft bezeichnet, womit die Last h
abzugleiten strebt. Es sey nun ferner die Kraft, welche
Herabgleiten des Körpers hindert, in K befestigt, und in
Richtung KE wirkend, so läſst sich auch diese als die Res
tirende der zwei componirenden rs und rK ansehen, wov
die erstere auf AB normal ist, und daher entweder den Dru

1 S. *Potenz, mechanische.*

des Körpers gegen die geneigte Ebene vermehrt oder partiell aufhebt, die andere aber mit AB parallel das Herabgleiten desselben hindert. Die Geometrie aber lehrt, dafs die Dreiecke nkm; n'Km'; rKs ähnlich sind, und diese Construction wird daher stattfinden können, wo auch immer die bewegende Kraft KE angebracht seyn mag, wenn man bei der wirklichen Ausübung vorläufig von der Reibung und einer Umwälzung des Körpers durch die Kraft KE abstrahirt. Heifst also der Winkel BAC $= \alpha$; das absolute Gewicht des Körpers $=$ P, so ist kn oder die Kraft, womit der Körper gegen die Ebene drückt $=$ P. Cos. α und mn, womit er herabzugleiten strebt $=$ P. Sin. α. Letzteres Gewicht, im Gegensatze gegen sein absolutes, heifst sein *relatives* oder *respectives* Gewicht.

Wenn auf gleiche Weise EFC $= \beta$ genannt wird, die in der Richtung KE wirkende Kraft aber $=$ Q, so ist rs $=$ Q. Sin. $(\beta - \alpha)$ und rK $=$ Q. Cos. $(\beta - \alpha)$. Soll also der Körper wirklich ruhen, so mufs P. Sin. $\alpha =$ Q. Cos. $(\beta - \alpha)$ seyn, wonach die seinem Falle entgegenwirkende Kraft $Q = \frac{P. \text{Sin.} \alpha}{\text{Cos.}(\beta - \alpha)}$ wird. Ist die Richtung der bewegenden Kraft mit AB parallel, so wird $\beta = \alpha$ und es ist daher Q $=$ P. Sin. α, welcher Fall beim Fahren der Wagen auf Anhöhen am häufigsten vorkommt; ist dagegen die Richtung der bewegenden Kraft oder KE mit AC parallel, also in der Anwendung horizontal, so wird $\beta = 0$, und da Cos. $- \alpha =$ Cos. α ist, so wird Q $=$ P. Tang. α. Der erste Fall heifst in Worten ausgedrückt: *Unter jener Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge;* der zweite dagegen heifst: *Unter dieser Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Basis.* Es folgt endlich aus dem Vorigen von selbst, dafs der Druck, welchen die Fläche erleidet, in Beziehung auf die drückende Last $=$ P. Cos. α und in der Rücksicht der bewegenden Kraft $=$ Q. Sin. $(\beta - \alpha)$ ist. Letztere Gröfse ist, wie aus der Construction folgt, negativ, wenn $\beta > \alpha$ ist, wird $= 0$, wenn $\beta = \alpha$ und positiv, wenn $\beta < \alpha$ ist. Hieraus kann die Summe und die Differenz beider Drucke leicht gefunden werden[1].

---

1 Vergl. Poisson Traité de Mécanique, Par. 1811. II Vol. 8. I. 136 u. 495. Was Gehler Th. III. p. 837 weiter über die Theorie erwähnt, auf welche Stevin, Varignon und Wolf dieses Problem zurückgeführt haben, scheint mir für den Physiker überflüssig zu seyn.

Nimmt man auf die Reibung Rücksicht, so ist diese Last proportional, und muſs also durch die Summe des Dru der Last und der bewegenden Kraft erzeugt werden. V diesem nach der Reibungscoefficiant durch f bezeichnet; ist die Friction $= f\left(P.\ Cos.\ \alpha - Q.\ Sin.\ (\beta-\alpha)\right)$. Soll Kraft bloſs das durch die Reibung erschwerte Herabgleiten h dern, so muſs $Q. Cos.(\beta-\alpha) = P. Sin.\ \alpha - f P. Cos.\ \alpha - Q. Sin.(\beta-$ seyn, woraus $Q = \frac{P.\ (Sin.\ \alpha - f.\ Cos.\ \alpha)}{Cos.\ (\beta-\alpha) - f.\ Sin.\ (\beta-\alpha)}$ wird. Wenn dagegen Q nicht bloſs die Last im Gleichwichte erhal sondern auch die Reibung ganz überwinden soll, so daſs die geri ste Zugabe der Kraft eine wirkliche Bewegung erzeugen würde mufs $Q. Cos.(\beta-\alpha) = P. (Sin.\ \alpha + f. Cos.\alpha) - Qf Sin.\ (\beta-\alpha)$ se woraus $Q = \frac{P.\ (Sin.\ \alpha + f.\ Cos.\ \alpha)}{Cos.\ (\beta-\alpha) + f Sin.\ (\beta-\alpha)}$ wird.

Berücksichtigt man hierbei den oben erwähnten Fall, in w chem die bewegende Kraft mit der schiefen Fläche paral also $\beta = \alpha$ ist, so wird für die erste Bedingung, daſs näml die bewegende Kraft den durch die Reibung am Herabgl ten gehinderten Körper in Ruhe erhalten soll

$$Q = P\ (Sin.\ \alpha - f.\ Cos.\ \alpha).$$

Setzt man hierin $Q = 0$, oder würde angenommen, daſs Körper durch seine Reibung allein herabzugleiten verhind wäre, so müſste $P. Sin.\ \alpha = Pf. Cos.\ \alpha$ werden, und es lie sich hieraus $f = \frac{Sin.\ \alpha}{Cos.\ \alpha} = Tang.\ \alpha$ also der Reibungscoe cient aus der Tangente des Neigungswinkels der geneigten Eb finden. Kommt auf die hier angegebene Weise ein Körper der geneigten Ebene durch seine bloſse Reibung bei ein Elevationswinkel $= \alpha$ zur Ruhe, so heiſst dieser Winkel da der *Ruhewinkel.* Sofern man aber aus diesem Winkel bei b kanntem absolutem Gewichte des Körpers sein relatives, u hierdurch den Reibungscoefficienten findet, heiſst derselbe au der *Reibungswinkel.* Für den oben erwähnten zweiten F aber, wenn nämlich die Richtung der bewegenden Kraft r der Basis der Ebene parallel, also $\beta = 0$ ist, wird unter c gleichen Bedingung, nämlich daſs die Kraft dem durch Reibu am Herabgleiten gehinderten Körper das Gleichgewicht halt soll, $Q = \frac{P\ (Sin.\ \alpha - f.\ Cos.\ \alpha)}{Cos.\ \alpha + Sin.\ \alpha}$.

Soll in beiden Fällen aber die bewegende Kraft nicht bloſs der Last, sondern auch ihrer Reibung gleich seyn, so daſs durch die geringste Vermehrung derselben eine wirkliche Bewegung entstände, so ist

für den ersten Fall $Q = P\ (\text{Sin.}\ \alpha + \text{f. Cos.}\ \alpha)$

für den zweiten Fall $Q = \frac{P\ (\text{Sin.}\ \alpha + \text{f. Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha}$.

Zur Erläuterung, wenn auch weniger zum Beweise der Richtigkeit der hier vorgetragenen Sätze, dient folgende Maschine. Auf dem horizontalen Brette AB befindet sich das eingelassene, vermittelst der Charniere k bewegliche Brett l e, dessen Elevation an dem getheilten Bogenstücke DC gemessen wird, woran dasselbe vermittelst einer Klemmschraube festgehalten werden kann. Man stellt dasselbe auf einen beliebigen Winkel, legt die an ihrer Axe mit einem Faden gehörig befestigte Kugel oder einen kleinen Wagen mit sehr leicht beweglichen Rädern und von genau bestimmtem Gewichte darauf, führt den Faden über die Rolle g, und beschwert ihn am Ende mit dem Gewichte Q. Die Elevation des Brettes e l giebt den Winkel α, und die höhere oder niedrigere Stellung des Bogenstückes i h, dessen Centrum sich in dem Mittelpuncte der zu bewegenden Last oder in c befinden müſste, kann gehörig eingerichtet den Winkel β für diejenigen Fälle geben, wenn $\beta > \alpha$ oder $\beta = \alpha$ ist, mit gröſserer Schwierigkeit auch für diejenigen, wenn $\beta < \alpha$ wird. Hiernach findet man also das Verhältniſs von Q zu P durch Versuche. Statt der Kugel oder des kleinen Wagens kann auch ein Klötzchen genommen, und somit also der Reibungscoefficient gefunden werden [1]. Fig. 9.

Die hier gegebene Demonstration [2] ist am leichtesten und in eigentlicher Strenge anwendbar, wenn die bewegende Kraft im Schwerpuncte selbst angebracht ist, oder wenn die durch den letzteren gezogene Falllinie verlängert die Richtung der bewegenden Kraft trifft, am allerleichtesten, wenn der fallende

---

1 Vergl. Encyclopédie méthodique. Physique IV. 318.

2 Vergl. H. W. Brandes Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper. Leipzig. 1817. I. 91. Eytelwein Handbuch der Statik fester Körper. Berl. 1808. I. 239. ff. Vega Vorlesungen über die Mathematik Bd. III. Wien 1818. S. 158. u. v. a.

Körper die Kugelform hat, in welchem Falle dann auch Reibung wegfällt. Anderweitig bedingte Fälle, z. B. w der Körper so geformt ist, daſs er in demjenigen Puncte welchem der aus seinem Schwerpuncte auf die geneigte El gefällete Perpendikel diese trifft, sie nicht berührt u. a lassen sich nach den angegebenen Grundsätzen leicht struiren, und gehören eigentlicher in die Mathematik.

Die geneigte Ebene kommt hauptsächlich in Anwend wenn man dieselbe, wie schon erwähnt ist, als mechani Potenz betrachtet, noch mehr aber in den täglich wieder vorkommenden einfachen Fällen, in denen Lasten auf derse bewegt werden müssen. Indeſs kommen noch drei beka physikalische Probleme hierbei in Betrachtung, welche eine here Erörterung erfordern, nämlich der sogenannte berganlau de Cylinder, der berganlaufende Kegel und die Quecksilber

Fig. 10. 1. Der *berganlaufende Cylinder* wird 6 bis 9 hoch und 1 bis 2 Z. dick aus leichtem Holze oder noch be aus starker Pappe und hohl gemacht. In g befindet sich n am Rande ein der Gröſse und dem Gewichte des Cylinders gemessener Cylinder von Blei, oder es wird ein Stück Blei wendig an der inneren Seite des Cylinders befestigt. Du das gröſsere Gewicht des Metalles fällt der Schwerpunct n in die Mitte des Cylinders, sondern es werde angenomn er falle in e. Um dann zu bestimmen, in welcher Lage selbe auf einer Ebene BAC, deren Neigungswinkel $= \alpha$ s möge, zur Ruhe kommen, sich aufwärts bewegen oder her laufen wird, ist es am kürzesten, die Bedingung des Ruh zu suchen, wobei vorausgesetzt wird, daſs der Schwerpu nach der Erhöhung der Ebene hin liege, weil der Cylin sonst nothwendig herabrollen muſs. Ist dann a c auf die Eb AB lothtrecht, a b die Falllinie aus dem Centro des Cylind e d aus dem Schwerpuncte desselben, so sind beide einar parallel. Weil aber der der Cylinder nur dann ruhen ka wenn c und d in einen Punct zusammenfallen, so muſs in dem durch die Figur dargestellten Falle so lange aufw rollen, bis dieses wirklich eintrifft, und dann ruhen. Sen man die Ebene AB auf AC, so würde der Schwerpunct e die Linie a c fallen, erhebt man dagegen AB, so beschreil um a einen Kreis, und die gröſste Neigung findet dann s wenn a e d einen rechten Winkel bildet. Denn weil im

stande der Ruhe die Puncte c und d allezeit zusammenfallen, so ist für den angegebenen Fall ade = bac = α; und da ae: ac=Sin. ade = Sin. α ist, so wird die Ebene am stärksten geneigt seyn, wenn Sin. α = ae: ac ist. Kennt man also den Halbmesser des Cylinders und den Abstand des Schwerpunctes vom Centro desselben, so kann man hieraus die gröſste Neigung der Ebene für den Zustand des Gleichgewichts finden. Umgekehrt läſst sich aus dem Halbmesser des Cylinders und der Neigung der Ebene der Abstand des Schwerpunctes vom Centro finden, indem ae = ac Sin. α. Wird die Neigung der Ebene erhöhet, so wird der Winkel bei e kleiner als ein rechter, die Linie ed schneidet die Linie ac und der Punct d fällt über c hinaus nach b hin, findet also keine Unterstützung, und der Cylinder rollt die Ebene herab [1]. Wenn man dem Schwerpuncte nur ein kleines Uebergewicht verstattet, so erhält man eine Kraft, welche ein im Cylinder befindliches Räderwerk umtreiben, und durch ein Hemmwerk so regulirt werden kann, daſs das Aufsteigen oder Herabrollen des Cylinders ein darin eingeschlossenes Uhrwerk treibt. Eine solche Uhr, die sich selbst eine schiefe Fläche hinabtreibt, und durch das Aufwalzen wieder aufgezogen wird, beschreibt Robert Wheeler [2].

2. Noch weit einfacher ist die Theorie und Construction des sogenannten berganlaufenden Kegels, eines doppelten Kegels, welcher die zwei schiefen Flächen CA und CB hinauflauft. AC, BC sind nämlich zwei in C vereinigte Leisten, 0,25 bis 0,5 Z. dick und etwa 1 Z. hoch. Bei A und B müssen dieselben höher seyn, so daſs jede eine von C aus ansteigende geneigte Ebene bildet, oder sie werden vermittelst zweier Schrauben hier höher gestellt. Die Länge derselben ist unter sich gleich, übrigens willkürlich, die Differenz ihrer Höhe in A und B gegen C wird durch die Dicke des Kegels bestimmt, und zwar muſs sie geringer seyn als ½ cd; die Entfernung zwischen A und B ist aber gleich der Länge der Axe des doppelten Kegels = ab. Wie die Figur zeigt kommt der Kegel auf seiner Unterlage allezeit so zu liegen, daſs seine Fig. 11.

1 Desaguliers Cours de Phys. expér. 1. 58. beschreibt diesen Cylinder, und giebt p. 81 ff. eine sehr weitläuftige Demonstration des Phänomens. Vergl. Kästner in deutsche Schriften d. Kön. Ges. d. Wiss. Gött. 1771. p. 113.

2 Phil. Trans. N. 161. p. 647.

eigenen schiefen Flächen die schiefen Flächen CA und CB rühren, und wenn die ersteren dann stärker geneigt sind die letzteren, so wird er mit einer der Differenz dieser be proportionalen Geschwindigkeit herabrollen, obgleich er Ansehen nach auf der ersteren aufwärts zu rollen scheint. S beide Flächen gleich stark geneigt, so wird der Kegel an a Orten ruhen, auch ist die Länge der zur Unterlage dienen geneigten Ebenen deswegen gleichgültig, weil bei zunehm der Länge die Neigung auf eine gröfsere Strecke vertheilt w dann aber auch die Schneckenlinie, welche um jede Hä des Kegels beim Herabrollen beschrieben wird, mehrere W dungen erhält[1].

3. Die Quecksilber-Uhr ist eine ganz interessante, Erläuterung der Lehren vom Schwerpuncte und der schie Fläche dienende Spielerei. Sie ruhet auf einem Gestelle

Fig. 12. dünnen Stäben CA, C'A', BA, B'A'; wovon erstere lothre stehen, letztere gegen den Horizont geneigt sind. Der eige liche Körper ist aus Glas verfertigt, ein runder Kranz a m bestehend aus hohlen, durch enge Zwischenröhren verbun nen Kugeln, worin sich eine verhältnifsmäfsige Menge Que silber befindet, so dafs etwa zwei der hohlen Räume, m unc damit gefüllt sind. Vermittelst dreier pergamentener oder Fischbein verfertigter Speichen ist dieser Kranz an eine kle hölzerne Walze c befestigt, welche mit ihren beiden Enden den beiden parallelen und gleichmäfsig gegen den Horiz geneigten Stäben AB, A'B' aufliegt, und durch zwei um gewickelte, in A und A' befestigte Fäden in horizontaler L getragen wird. Ohne das enthaltene Quecksilber würde Schwerpunct des Kranzes in die Mitte der Axe c fallen, Fäden würden sich abwickeln, und der Kranz auf der gene ten Ebene herabrollen; allein dieses wird verhindert du das in den Räumen m und n befindliche Quecksilber, welc durch die gegenüberstehende leichtere Seite a nicht gehob werden kann, und daher erst durch die engen Zwischenräu abfliefsen mufs, wenn der Kranz weiter herabsinken soll. enger diese Räume im Verhältnifs zu der Menge dieses Quec silbers sind, um so langsamer wird dieses Herabfallen stattfi den, und wenn die engen Canäle sämmtlich gleich weit si

1 Vergl. Kraft in Nov. Com. Pet. VI. 389. Ausführlich ha delt darüber Kononoff in. Nov. Act. Pet. VII. 229.

so wird dieses in einer regelmäfsigen Zeit geschehen, so dafs die Bewegung der einer Uhr gleicht, und auch diese wie eine Sanduhr zum Zeitmafse dienen könnte[1].

Unter die bedeutendsten Anwendungen der geneigten Ebene gehören die sogenannten trocknen Schleusen (écluses sèches), vermittelst derer man die Schiffe aus einem Canale oder Wasserbehälter in einen andern auf einer schiefen Fläche aufwärts bewegt oder auch herabgleiten läfst. Eine der merkwürdigsten Vorrichtungen dieser Art ist diejenige, welche der Herzog von Bridgewater durch den Ingenieur Brindley erbauen liefs, um eine Verbindung zwischen zwei Wasserbehältern herzustellen, die einen Theil eines Canales von 52 engl. Meilen bilden, bestimmt zum Transporte der Steinkohlen von Worsley, wo sie gegraben werden, bis an den Flufs Merisey, von wo sie nach Liverpool und in die See kommen. Die geneigte Ebene ist 453 engl. Fufs lang und auf 4 F. ohngefähr einen Fufs geneigt. Man erhebt hier die Schiffe bis zu 106 engl. F. lothrechte Höhe, welches die Differenz des Niveaus beider Wasserbehälter ist[2].

Sehr häufig bedient man sich der geneigten Ebenen, um Lasten durch ihr eigenes Gewicht von einer Höhe herabzubringen. Dahin gehören die Vorrichtungen, vermittelst deren z. B. die Steinkohlen zu Newcastle in Rollwagen geladen werden, welche dann durch ihr Gewicht bis über die Schiffe herabrollen, wo ihre Kasten umschlagen und sich ausleeren. Solcher Wagen sind in der Regel zwei an ein gemeinschaftliches, über eine Rolle gehendes Seil befestigt, so dafs der beladene durch sein Uebergewicht den leeren wieder heraufzieht. Aehnlicher Maschinerien bedient man sich, um die Erze von den Bergen herabzuschaffen, auch lassen sie sich zum Abtragen der Berge gebrauchen.

Eine wegen ihrer Gröfse stets denkwürdige geneigte Ebene ist diejenige, welche Joh. Rupp im Jahre 1816 anlegte, um das seit undenklicher Zeiten unbenutzte Holz der Urwälder auf dem Pilatusberge in der Schweiz darauf herabgleiten zu lassen. Sie lief bald gerade, bald in Windungen unter einem Winkel

---

1 Ein solcher Apparat befand sich ehemals im Cabinette zu Göttingen; sonst ist mir keine Beschreibung desselben bekannt geworden.

2 S. Encyclopédie méthod. a. a. O. p. 319.

von 10° bis 18° stellenweise unter der Erde, sonst ab
Allgemeinen auf Böcken von 10 bis 120 F. Höhe, eine S
von drei Stunden herab, war aus geschälten Tannen mu
förmig zusammengesetzt, und hatte eine Breite von (
bei einer Tiefe von 3 bis 6 Fuſs. Im Ganzen wurde sie
2000 Joche getragen, die gegen 10 Fuſs von einander al
den, und deren Befestigung oft mit unglaublichen Schw
keiten verbunden war. Es wurden 25000 Stämme Hol
zu verwandt, welche ohne alles Eisen künstlich zusam
gesetzt waren, der Bau beschäftigte im Mittel 160 Men
1,5 Jahre und kostete über 100000 Gulden. Nachden
Werk aller unübersteiglich scheinenden Hindernisse u
achtet endlich vollendet war, glitten die groſsen, 100 F.
gen und am dünnsten Ende noch 10 Z. dicken Tanner
solcher Schnelligkeit darauf herab, daſs sie den Weg von
Stunden in nicht mehr, als drittehalb Minuten zurückle
und den unten stehenden Beobachtern nicht länger als ei
Fuſs zu seyn scheinen. Der Sicherheit wegen hatte der
telbaum in seiner ganzen Länge eine Rinne, in welche d
angebrachte Zubringer von vielen Stellen stets Wasser
ablief und das Holz benetzte. Zur Erhaltung der Ordn
waren an der ganzen Strecke Arbeiter angestellt, wovon
unterste rief: *Laſs laufen;* dieser Ruf kam etwa in 3 Mi
ten vermittelst der zwischenstehenden Arbeiter oben an,
Baum wurde losgelassen mit dem Rufe: *Er kommt*, und
glitt alle 5 bis 6 Minuten ein Baum herab, wenn nicht et
an der Leitung verdorben war, was sofort ausgebessert wu
Um die Kraft des anprallenden Holzes zu zeigen, lieſs R
einige Bäume seitwärts herausschieſsen; sie drangen mit ih
dicken Ende 18 bis 24 Fuſs tief in die Erde ein, und als
fällig ein liegender von einem herabgleitenden getroffen wu
spaltete dieser ihn wie der Blitz von einem Ende zum ander

Die geneigten Ebenen kommen unter andern hauptsä
lich auch dann in Betrachtung, wenn es sich darum hand
daſs Menschen, Thiere und Lasten auf denselben hinauf o
herab bewegt werden sollen, ohne übermäſsige oder unmö
liche Anstrengung im ersten und ohne Gefahr im letzt
Falle. Um von dem Vielen, was die praktische Anwendu

---

1 G. LXII. 102.

hierbei zu erörtern fordert, nämlich von der bergauf oder bergabwärts gehenden Bewegung unbelasteter oder mit verschiedenen Gewichten belasteter Menschen, Pferde, Maulthiere u. s. w. Chaisen, leerer oder beladener Wagen, Frachtwagen, Munitionswagen, Geschütze u. dergl. m., jederzeit mit Rücksicht auf die erforderliche Geschwindigkeit und Sicherheit, nur einige Hauptsachen namhaft zu machen, möge Folgendes genügen. Wenn man mit Langsdorf [1] glatte aber nicht beeiste Straſsen annimmt, deren Neigungswinkel = Sin. α ist, den Schub, welchen das selbst schräg stehende Pferd auszuhalten vermag $= (1 - 3 \text{ Sin. } \alpha)\ 70$ ℔. setzt, um nicht zu viel zu rechnen, und zu vollkommener Sicherheit die durch einen Hemmschuh bewirkte Reibung zu $\frac{1}{12}$ der Last schätzt, ferner das Gewicht der Ladung für ein Pferd = P; das eines einspännigen Fuhrwerks = p und die Zahl der Pferde = N nennt, so ist die Kraft des Schubes für ein Pferd beim Herabfahren $= (P + p) \text{ Sin. } \alpha - \frac{1}{12}(P + p)$ und für N Pferde $= N(P + p)(\text{Sin. } \alpha - \frac{1}{12})$. Wenn also n Pferde das Fuhrwerk aufhalten, so hat man für den Zustand des Gleichgewichtes;

$$n(1 - 3 \text{ Sin. } \alpha)\ 70 = N(P + p)(\text{Sin. } \alpha - \tfrac{1}{12})$$

Hieraus findet man

$$\text{I.}\quad \text{Sin. } \alpha = \frac{70.\,n + \dfrac{N(P + p)}{12}}{210.\,n + N(P + p)}$$

$$\text{II.}\quad P = \frac{n(1 - 3 \text{ Sin. } \alpha)\ 70}{N(\text{Sin. } \alpha - \frac{1}{12})} - p$$

$$\text{III.}\quad N P = \frac{n(1 - 3 \text{ Sin. } \alpha)\ 70}{\text{Sin. } \alpha - \frac{1}{12}} - N p.$$

Setzt man hierin für einen Wagen allezeit $n = 2$; bei einer Bespannung mit 6 Pferden P = 1600 ℔.; p = 200 ℔; so wird Sin. $\alpha = \frac{1}{11}$ d. h. der Neigungswinkel einer glatten Straſse darf 5° 13′ nicht übersteigen, wenn ein sechsspänniger Wagen mit einem Hemmschuh und durch das Aufhalten der beiden hinteren Pferde sicher herabfahren soll. Wird Sin. $\alpha = \frac{1}{12} = 4° 47'$, so wird $N(P + p)(\text{Sin. } \alpha - \frac{1}{12}) = 0$ d. h. der Wagen wird durch die Reibung des Hemmschuhes allein in Ruhe kommen, und bedarf des Aufhaltens der Pferde nicht.

---

1 Gemeinfaſsliche Anleitung zum Straſsen- und Brückenbau Heidelb. 1817. 8. p. 17.

Setzt man Sin. $\alpha = 0,1 = 5° 44'$, so wird aus II. gefu
$P = 535$ ℔., also für 4 Pferde $NP = 2140$ ℔., d. h. be
nem Steigen von 1 F. auf 10 der Länge eines Weges dar
vierspänniger Wagen nur mit 21 bis 22 Ctr. belastet s
wenn man bei glatten Winterwegen, jedoch ohne Eis,
Sicherheit auf die Hemmung durch Hemmschuh und die l
terpferde rechnen will.

Will man die Last finden, welche auf Wagen eine
steigende glatte Strafse hinangefahren werden kann, so
man gleichfalls mit Langsdorf[1] annehmen, dafs zur Ue
windung der Reibung in diesem Falle $\frac{1}{18}$ der Last als K
erfordert wird. Hiernach ist, wenn die eben gebrauc
Bezeichnungen beibehalten werden, und man die horizon
Kraft eines Pferdes = 185 ℔. setzt, diejenige aber, wel
dasselbe berganziehend, also selbst in einer geneigten S
lung, ausüben kann, $= (1 - 2 \text{ Sin. } \alpha)$ 185 ℔; die zu üb
windende Last $= (\frac{1}{18} + \text{Sin. } \alpha)(P + p)$ ℔., welcher a
seine Kraft gleich seyn mufs. Jene Bestimmung setzt üb
gens voraus, dafs die Kraft eines Pferdes von mittlerer Stä
nicht gröfser angenommen werde, als welche dasselbe et
8 Stunden des Tages anwenden kann[2]. Diesem n
wird also $(\frac{1}{18} + \text{Sin. } \alpha)(P + p) = (1 - 2 \text{ Sin. } \alpha)$ 1
Werden hierin die oberen Werthe von P und p genommen,
findet man Sin. $\alpha = \frac{1}{25} =$ Sin. $2° 18'$, und der Weg darf r
auf 25 F. der Länge 1 F. Erhöhung haben, wenn ein belad
ner Wagen ohne Vorspann und übertriebene Anstrengung d
Zugviehes hinaufgefahren werden soll. Setzt man in der Fo
mel Sin. $\alpha = 0$, so findet man $P = \frac{185}{\frac{1}{18}} - p = 3330 -$
und für $p = 200$ substituirt gäbe eine Last von $31\frac{1}{4}$ Ctn., we
che für ein Pferd von mittlerer Stärke auf völlig ebener Straf
gerechnet werden könnte.

Im Allgemeinen läfst sich noch Folgendes annehmen

---

1 a. a. O. p. 32.

2 Vergl. *Kraft, der Menschen und Thiere.*

3 v. Humbolt Reisen d. Ueb. I. 224. Ausführlicher hierh
handelt G. W. Leonhardi in Vorlesungen über d. Anfangsgründ
der Mathem. Bd. IV.

Eine Elevation der Strafsen von 5° oder 1 F. Erhebung auf 11,5 F. ist schon eine starke Neigung für das Fuhrwesen, und kann bei voller Ladung ohne Vorspann nicht befahren werden, denn dieses würde sonst, die oberen Werthe von P und p angenommen eine Zugkraft von 310 ℔. für ein Pferd erfordern; worauf für eine längere Zeit nicht mit Sicherheit zu rechnen ist, obgleich sie für eine kurze Zeit und durch ungewöhnliche Anstrengung allerdings überwunden werden kann. Nach dem Gesetze dürfen daher die Chausseen in Frankreich nur 4° 46′ geneigt seyn, oder für 13 F. Länge 1 F. Erhebung haben, welches unter den angegebenen Bedingungen eine Zugkraft von 282 F. erfordert. Ein um 15° geneigter Berg kann mit einem beladenen Wagen nicht mehr hinabgefahren werden; denn nähme man das Gewicht eines vierspännigen Wagens zu 900 ℔. an, welcher unbeladen mit einem Hemmschuhe durch zwei Pferde aufgehalten werden sollte, so würde nach der oben angegebenen Formel statt des dort angenommenen Schubes von 70 ℔. vielmehr 313 ℔., für jedes Pferd kommen, bei einem mit 1600 ℔. auf jedes Pferd beladenen Wagen aber gar 819, welche auszuhalten unmöglich ist. Setzt man bei einer Schleife die Reibung = $\frac{1}{3}$ der Last, so wird in der oben angegebenen Formel, wenn man P und p einen willkürlichen Werth giebt, also für jede mögliche Belastung und jedes Gewicht der Schleife $(P + p)$ Sin. $15° - \frac{1}{3}(P + p)$ die Kraft des Herabgleitens negativ, weil Sin. 15° = 0,2588, also kleiner als $\frac{1}{3}$ ist; d. h. in diesem Falle würde noch eine Kraft erforderlich seyn, um die Last auf der Schleife von der Anhöhe herabzubringen. Erst bei einer Elevation von 19° 28′ würde in diesem Falle die Last der zu überwindenden Reibung gleich seyn, weil Sin. 19° 28′ = 0,333258 also nahe = $\frac{1}{3}$ ist.

Eine Neigung von 37° ist zu Fufse unzugänglich, wenn man keine Staffeln eingraben kann, also auf kurzem Rasen oder nackten Felsen, denn der menschliche Körper fällt rückwärts, wenn das Schienbein mit der Fufssohle einen kleineren Winkel als 90° — 37° = 53° macht. Eine Neigung von 42° ist die stärkste, welche erstiegen werden kann, wenn man mit dem Fufse Staffeln in den Boden graben kann, oder sich Hervorragungen finden, worauf der Fufs eine Haltung erhält. Beim Ausgleiten müfste der Mensch herabfallen, wenn man die Reibung nicht stärker als $\frac{1}{3}$ der Last annehmen darf,

indem hierfür die steilste Neigung keine 20° beträgt. Die lere Neigung der fast unersteiglichen vulcanischen Keg trägt 33° bis höchstens 40°, und nur die steilsten kurze thieen betragen 40° bis 42°.

Echo.

Wiederhall, in alle neueren Sprachen aus dem chischen Worte ἠχώ, *Ton*, *Geräusch*, *Echo*, üb gangen, bezeichnet sowohl die Zurückwerfung der S strahlen oder Schallwellen von irgend einer reflectir Fläche, als auch die Flächen selbst, von welchen dies flection geschieht, mithin sowohl die Wirkung als auc Ursache des Wiederhallens. Inzwischen fallen diese b Bedeutungen des Wortes so nahe zusammen, dafs die Z deutigkeit von gar keinem Belange ist, auch hat man im gemeinen die Erscheinung allezeit richtig erklärt, insofern das Echo für die Wirkung des von irgend einem geeig Gegenstande reflectirten Schalles hielt. Auf diese Erklä führen die einfachsten und gemeinsten, täglich wiederkeh den Erfahrungen. Wenn man nämlich ein Buch vor dem sichte haltend laut lieset oder gegen eine Wand gekehrt r so empfindet man deutlich die wieder entgegenkomme Schallwellen, welches eine Art Echo im Kleinen ist. W indefs das Phänomen des Echo's genauer untersucht, so k men dabei verschiedene Gegenstände in Betrachtung, w am besten einzeln untersucht werden.

1. Die reflectirenden Flächen.

Die eben erwähnte Erscheinung der Reflection des Sc les von den verschiedensten nahen Gegenständen und die fig beobachteten ähnlichen Wirkungen des Wiederhallens entfernteren Wänden, Mauern, Häusern, Ufern u. dgl zeigt zwar deutlich, dafs Flächen von der verschieden Beschaffenheit die Schallwellen zurückwerfen, allein die nauere Beobachtung ergiebt zugleich, dafs die Art des Wie hallens sehr verschieden ist. Zuweilen hört man nämlich besondere dia einzelnen Laute des Echo's nur stumpf und r oft aber sind sie dagegen scharf und angenehm klingend, gle

sam glockenähnlich tönend, eine Verschiedenheit, welche nicht füglich anders als aus der Beschaffenheit der reflectirenden Flächen erklärt werden kann. Inzwischen wird dieser Gegenstand schwerlich jemals vollständig aufgehellet werden, weil der Redende das Echo seiner eigenen Stimme nur dann hört, wenn er sich in einer weiteren Entfernung von der wiederhallenden Fläche befindet, und auch jeder Hörer des Echo's so weit davon entfernt seyn muſs, daſs der ursprüngliche und der zurückgeworfene Schall einzeln zum Ohre gelangen, indem der nicht eben selten vorkommende Fall, daſs man das Echo allein und den dasselbe erzeugenden Schall nicht hört, nicht füglich dann stattfinden kann, wenn man sich sehr nahe bei der reflectirenden Ebene befindet. Die Erfahrung zeigt indeſs genügend, daſs zur Reflection der Schallwellen keine ganz ebene Flächen erforderlich sind, wie zur Erzeugung der Bilder durch Spiegel, eine durch La Grange[1], d'Alembert[2] und Euler[3] genügend erwiesene Wahrheit. Die verschiedensten Körper, als Mauern, Wälle, Festungswerke, Häuser, Berge, Bergschluchten, Felsen, verfallene Thürme, Höhlen, hohe Ufer, Wälder u. dergl. sind daher geeignet, den Schall zu reflectiren, auch leidet es keinen Zweifel, daſs der Schall von den Wolken reflectirt werde, und daſs hieraus, verbunden mit den wiederhallenden Gegenständen auf der Erdoberfläche, das Rollen und tiefere Tönen des *Donners* gröſstentheils erklärbar sey[4]. Unter die reflectirenden Flächen gehören, den Erfahrungen gemäſs, auch die Segel der Schiffe auf dem Meere und hochgethürmte Wellen. Letztere geben einen Wiederhall insbesondere der Schüsse nach Vögeln, erstere ein vernehmliches Echo der Worte, welche durch ein Sprachrohr gerufen werden, jedoch hauptsächlich nur dann, wenn der Schall gegen die convexe Fläche der Segel mehrerer, in nicht zu groſser Entfernung befindlicher Schiffe gerichtet ist[5].

---

1 Lagrange in Misc. Taur. 1. 93.

2 d'Alembert in Encyclopédie par d'Alembert et Diderot. Art. Echo.

3 Mém. de Berlin. 1765. Nov. Comm. Acad. Pet. XVI.

4 Vergl. *Donner*.

5 Journ. de Ph. 1773. II. 192.

Inzwischen hat die Untersuchung der individuellen schaffenheit solcher Flächen, welche ein Echo zu erzeu geschickt sind, die Naturforscher vielfach beschäftigt. So BRISSON, NOLLET und die meisten Physiker voraussetz dafs diese Wirkung auf ähnlichen Gesetzen beruhe, als Spiegelung des Lichtes, hat man den Ausdruck *Katopt des Schalles* einführen gewollt, diesen aber als unpass bald mit dem mehr geeigneten, nämlich *Kataphonik* o *Katakustik* vertauscht, auch heifst der Ort, wo der Scl erzeugt wird, der *phonische*, derjenige aber, welcher Schallstrahlen zurückwirft, der *phonokamptische*, wo man das Ganze durch *Phonokamptik* bezeichnet und sow das phonische, als auch das phonokamptische Centrum unt scheidet, deren Bedeutung aus den griechischen Worten φα Ton, Stimme und κάμπτειν umbiegen, zurückbringen, lei abzuleiten ist. L. EULER [1] und diesem folgend CHLADNI [2] fi ren die Erscheinungen des Echo auf die Schwingungen ei Luftsäule in einer Röhre von beliebiger Weite und ohne Rüc sicht auf ihre Krümmungen zurück. Hiernach würde ein fre Raum einer unendlich langen, an beiden Enden offenen Röl gleichen, in welcher kein Echo entstehen kann, weil schwingende Luftsäule nirgend einen Widerstand findet. Irge eine feste Grenze gäbe dagegen eine an einem Ende verschlo sene, an der andern offene und in unendliche Ferne sich e streckende Röhre. Im Allgemeinen würde dann der Schall Verhältnifs der Entfernung des Ohrs vom tönenden Körp dividirt durch die Entfernung, welche der Schall in einer S cunde durchläuft, ein Echo eszeugen, oder wenigstens wür hierdurch die Secundenzahl des Ausbleibens der ersten wiede kehrenden Schallwelle angegeben werden. Obgleich ab diese Theorie sehr gelehrt und sinnreich ausgedacht ist, CHLAD auch eine Anwendung davon auf den Wiederhall macht, we cher sich in Hohlwegen, langen Stollen, Canälen und zw schen Felsschluchten u. dergl. zeigt, so ist doch diese Theor keineswegs durch die Erfahrung genügend begründet, vie mehr scheint sie mit den Resultaten der von BIOT [3] angestell

1 Nov. Com. Petr. XVI.
2 Die Akustik. Leipz. 1802. 4. §. 212.
3 Mém. de la Soc. d'Arcueil. II. 422.

ten Versuche nicht übereinzustimmen. Wenn er nämlich in die 951 Meter lange, aus gusseisernen Röhren bestehende Wasserleitung an einem Ende hineinredete, so hörte er mehrere Echo's, welche sich in gleichen Zeiten wiederholten. Bei einem Versuche hörte er deren sechs, welche sämmtlich in Zeitintervallen von 0,5 Secunden einander folgten, und das letzte wurde nach Verlauf von etwas weniger als 3 Secunden gehört, welche Zeit gerade erforderlich war, damit der Schall von einem Ende zum andern gelangen konnte. Die Erscheinung war an beiden Enden gleich, wenn man hineinredete, ein Zuhörer am andern aber nahm nur einen Schall wahr. Chladni gesteht zu, dass diese Erfahrung mit seiner Theorie nicht übereinstimmt, wonach die Intervalle zwischen den Echo's $= 2.\frac{951}{338} = 5'',6$ hätten seyn müssen, wenn man die Länge der Röhre $= 951$ und den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= 338$ Meter annimmt, weswegen er die Ursache der kürzeren Zeitdauer in den Schwingungsknoten sucht, welche sich in dem gegen seine Länge verhältnissmässig sehr engen Rohre erzeugten.

Auf eine ähnliche Weise als L. Euler führt auch Poisson[1] die Erscheinungen des Echo's auf die Zurückwerfung der Schallwellen von einem Widerstand leistenden Körper zurück, indem er annimmt, dass die durch den Schall in wellenartige Schwingungen gesetzte Luft gegen die festen Hindernisse gestützt sey, und somit die Schallwellen beim Zurückgange die nämlichen Gesetze befolgen, als worauf sich die Reflection des Lichtes zurückführen läst. Hiernach müssten sich also die Erscheinungen des Echo's nach katoptrischen Grundsätzen eben so gut, als aus der Theorie der Schallwellen erklären lassen. Inzwischen darf hierbei nicht übersehen werden, dass eine jede dieser Ansichten eine hierzu geeignete und auf eine bestimmte Weise gerichtete Fläche voraussetzt. Nun ergiebt zwar die Erfahrung, dass manche diesem gemäss beschaffene Ebenen, z. B. Mauern, die Seiten grosser Häuser, Kirchen u. dergl. ein dort erwartetes Echo geben, allein in weit zahlreicheren Fällen bleibt dasselbe gerade an solchen Orten oft aus, und wird wiederum durch andere Gegenstände

1 Journ. de l'École Polyt. VII. p. 319.

erzeugt, von denen man eine solche Wirkung nach theor schen Gründen nicht erwarten sollte, wohin namentlich keine eigentliche Fläche darbietenden, Bäume der W der, gehören, deren individuelle Wirksamkeit bei der Erz gung der Echo's überhaupt unter die schwierigsten Pr leme gehört. Viele Erscheinungen führen daher auf die V muthung, daſs gekrümmte Flächen und höhlenartig wölbte Räume zur Erzeugung eines Echo's am meisten eignet sind, denn wirklich geben verfallene Thürme, krümmte Ufer, Bergschluchten u. dergl. oft wider Erwar die schönsten Echo's, ohne daſs man jedoch eine feste Th rie, noch weniger eine geometrische Construction dersell auf solche Erfahrungen zu gründen im Stande ist.

Auf allen Fall darf man es hierbei als ausgemacht an hen, daſs glatte Flächen die Schallwellen stärker und bes zurückwerfen, als rauhe uud bestaubte oder mit Schmutz üb zogene, indem die Wände neuer Häuser ungleich stärl wiederhallen, als alter oder bewohnter. Manche werden i deſs geneigt seyn, diese auffallende Wirkung vielmehr d gröſseren Elasticität solcher neuen Wände beizulegen, wodur sie mehr geeignet sind, selbst in Schwingungen versetzt werden, auch scheinen die vielen Echo's durch verfalle Mauern erzeugt, hiergegen zu streiten, welche sich ind aus andern Gründen erklären lassen, wie weiter unten g zeigt wird.

Hassenfratz [1] meint, man habe bei den versucht Erklärungen dieser Phänomene einen eben so wichtigen, nahe bei der Sache liegenden Umstand zu berücksichtigen u terlassen, nämlich das Mittönen derjenigen Körper, welc die Echo's erzeugen. Daſs viele Körper, namentlich elastiscl und gespannte, als Glasscheiben, Gläser, Stahlstäbe, die Sa ten der Instrumente u. a. durch einen Schall leicht in so starl Schwingungen versetzt werden, um zu zittern oder selbst e nen minder hörbaren Schall hervorzubringen, wuſste man se sehr langer Zeit [2], und daſs alle mit dem tönenden in Verbi dung stehenden oder durch einen starken Schall getroffene Körper, selbst die wenig elastischen, eine gleiche Wirkur

1 Encyclopédie méthod. T. III. p. 27.

2 Vergl. Resonanz.

zeigen, ist neuerdings durch CHLADNI und SAVART erwiesen. Man darf daher kaum bezweifeln, dafs auch die den Schall zurückwerfenden Körper in Schwingungen versetzt werden; allein hiermit ist noch nicht ausgemacht, dafs die Entstehung des Echo hierdurch erklärlich werden sollte, indem auch dann die Frage ganz unentschieden bleibt, warum unter gewissen Bedingungen ein Echo erzeugt wird, und unter andern, anscheinend ganz gleichen, wider alle Vermuthung ausbleibt. Zur Begründung eines Einflusses der Bebungen derjenigen Körper, welche ein Echo bilden, auf die Entstehung und individuelle Beschaffenheit des letzteren läfst sich indefs allerdings die oben schon erwähnte Thatsache anführen, dafs manche dumpf, andere aber hell und glockenartig wiedertönen. HASSENFRATZ führt ferner an, dafs verschiedene Echo's in unterirdischen Gallerien blofs gewisse Töne wiederhallen, und nicht eher, als bis der ursprüngliche Schall ein bestimmter musikalischer Ton geworden sey. Wichtiger noch ist die von ihm erzählte Thatsache, dafs im alten Collegium von HARCOURT die von einem in der Mitte des Hofes stehenden Menschen hervorgebrachten tiefen Töne durch das Echo in der Richtung der Strafse La Harpe, die hohen aber in einer 50 Grade nördlichern Richtung wiederhohlt wurden.

Dafs indefs verschiedene Echo's durch die Schwingungen von Bäumen, einzelnen Mauerresten, isolirten Felsen, Fensterrahmen mit oder ohne Glas u. dgl., wo nicht eigentlich erzeugt, aber doch verstärkt, modificirt und in einigen Fällen erst hörbar werden, scheint nach verschiedenen Beobachtungen kaum zweifelhaft zu seyn, auch ist es wahrscheinlich, dafs das Wiederhallen und die Ech'os mancher Wälder hierauf und auf der individuellen Gruppirung der Bäume beruhen, wenn gleich die Entstehung mancher Echo's durch hohle Flufsufer hiermit noch nicht erklärt ist. Als Beweis hierfür führt HASSENFRATZ [1] an, dafs GAY-VERNON in seiner Jugend ein Echo kannte, welches durch das Gebäude einer Mühle erzeugt wurde. Nach einem Aufenthalte von wenigen Jahren in Paris suchte er bei seiner Rückkunft das Echo wieder, fand es aber verschwunden, ohngeachtet bei näherer Untersuchung alle Gebäude der Mühle durchaus unverändert waren; vor densel-

1 a. a. O. p. 28.

ben aber einige Bäume fehlten, welche früher dort stan und also nothwendig die Entstehung des Echo's bedingt ben mufsten. Durch die Erzählung dieses Ereignisses ve lafst untersuchte HASSENFRATZ ein in der Ebene des Mo Rouge bei Paris befindliches Echo, welches durch eine M mit einigen Reihen Bäume vor derselben in der Art erz zu werden schien, dafs das phonokamptische Centrum in Mauer zu liegen schien. HASSENFRATZ liefs in einer ge neten Entfernung Töne hervorbringen, und näherte sich Mauer dann mehr und mehr, wobei das eigentliche Echo mälig verschwand, aber eine gewisse Resonanz wahrgen men wurde, welche im Umkreise der Bäume am stärksten hinter denselben aber, nach der Mauer hin, wieder abna bis zum gänzlichen Verschwinden. Als er darauf sein Oh die Mauer und dann auch an die Bäume anlegte, empfand die Schwingungen nicht jener, sondern dieser. Auf ähnli Weise fand er Echo's entstehen durch Mauern und Wä mit Fenstern, wenn diese verschlossen waren, aber a wenn die Fenster geöffnet, die Zimmer aber verschlos waren.

Darf man diese Erfahrungen als gegründet voraussetz so folgt daraus in Uebereinstimmung mit andern akustisc Gesetzen, dafs zur Erzeugung eines Echo nicht blofs e die Schallstrahlen reflectirende Fläche erforderlich ist, sond dafs die Klarheit und Stärke desselben zugleich durch Schwingungen der reflectirenden Flächen selbst oder ander in der Nähe derselben befindlicher, hierzu geeigneter Kör bedingt wird, von denen dann vermuthlich der hellere o stumpfere Ton der Echo's abhängen mag. Einen zu hoh Werth darf man indefs auf diese Resonanzmittel nicht leg indem die Sprachgewölbe und Flüstergallerieen genügend b weisen, dafs die Reflection der Schallwellen allerdings na den bekannten katakustischen Gesetzen geschieht, und hier auf gleiche Weise als bei den Lichtstrahlen die Gesetze Reflection nach der Beschaffenheit des Einfalls- und Ausfal Winkels anwendbar sind, obgleich man auch in diesen F len die Bebungen der reflectirenden Flächen als mitwirke ansehen kann. Ob endlich zur Entstehung eines Echo's d Concentrirung mehrerer reflectirter Schallstrahlen, also z Vereinigung derselben eine gewölbte Fläche erforderlich se

ist hierdurch nicht ausgemacht, und folgt keineswegs nothwendig aus der Erfahrung.

2. Menge und Entfernung der reflectirenden Flächen.

Wenn ein Echo gehört wird, so ist der Ort von wo die Schallstrahlen ausgehn, mit demjenigen, wohin sie reflectirt werden, oder nach der Kunstsprache das *phonische* und *phonokamptische Centrum* entweder zusammenfallend oder verschieden. Im ersteren Falle hört der Redende seine eigene Stimme, oder einen durch ihn selbst hervorgebrachten Ton, welches die gemeinste Art der Beobachtung ist, im letzteren dagegen, befindet sich der Hörende an einem anderen Orte, als an welchem der Schall erzeugt wird. Die letztere Art der Echo's begreift wieder zwei Verschiedenheiten, indem entweder der Schall selbst und das Echo desselben, oder nur das letztere allein gehört wird. Bloſs in diesem Falle würde es möglich seyn, dem phonokamptischen Mittelpuncte sehr nahe zu kommen, wenn man sich hierdurch nicht zugleich dem Wege, auf welchem der Schall zu der das Echo erzeugenden Fläche gelangt, zu sehr näherte, wodurch der Schall und sein Echo zusammenfallen, und somit nicht einzeln vom Ohre wahrgenommen werden können. Auf allen Fall ist es daher nothwendig, daſs zwischen der Wahrnehmung des erzeugenden Schalles und des dadurch hervorgebrachten Echo's so viele Zeit verstreicht, daſs beide einzeln durch das Ohr empfunden werden können. Es kommt also darauf an genau zu bestimmen, wie viele einzelne Laute in einer gegebenen Zeit das Ohr hören und unterscheiden kann. Hierbei dürfte allerdings die individuelle Schärfe des einzelnen Ohres zu berücksichtigen seyn, im Allgemeinen aber wird mindestens nahe genau angenommen, daſs das Ohr im Mittel etwa 8, das geübteste nicht mehr als 9 einzelne Laute in einer Secunde unterscheiden könne. Ist also die Zeit zwischen der Wahrnehmung des Schalles und seines Echo's kürzer als $\frac{1}{9}$ Secunde, so werden beide zusammenfallen, und einander verstärken, aber ein Echo wird nicht gehört werden. Dieser Fall tritt ein, wenn man sich der Echo gebenden Fläche zu sehr nähert, wodurch dasselbe also verschwindet, noch mehr aber in Kirchen, neuen und noch unbewohnten Häusern, in denen bekanntlich ein jeder Schall nicht eigentlich vervielfältigt, wohl aber oft unglaublich verstärkt und nachhallend

gemacht wird. Nennt man allgemein den Raum, welchen ursprüngliche Schall bis zum Ohre des Hörenden zu durch fen hat $= w$; den des reflectirten Schalles $= W$; den Ra welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= k$, so das zwischen beiden liegende Zeitintervall $z = \frac{W - w}{k}$. hierbei z kleiner als $\frac{1}{9}$ oder als 0,112, so wird gar kein E gehört werden. Die genauesten Versuche haben ergeben, der Schall durch die atmosphärische Luft innerhalb einer cunde bei 0° Temperatur einen Raum von 1020 Par. durchläuft, und für jeden Grad der Centesimalscale erhö Temperatur fast 2 Fuſs mehr. Nimmt man also 15° C. als m lere Temperatur an; so wird $k = 1050$ und $z = \frac{W -}{105C}$ Hört der Redende seine eigenen Laute durch das Echo wied hallen, so ist $w = 0$, und die kürzeste Entfernung, bei w cher dieses unter den angegebenen Bedingungen möglich se soll, giebt $\frac{1}{9} = \frac{W}{1050}$. woraus $W = 116{,}67$ par. F. gefu den wird, und weil in diesem Falle der Schall eine glei Zeit gebraucht, um zu der reflectirenden Ebene zu gelang als wieder von derselben zurück; so ist $\frac{116{,}67}{2}$ oder 58,3 Par. F. die kürzeste Entfernung, in welcher ein Redender v der brechenden Fläche entfernt seyn muſs, wenn er sein eigenen Laut reflectirt hören will. Erhält w irgend ein Werth, oder ist der Hörende von dem schallenden Körper e fernt, so muſs W um eine gleiche Gröſse wachsen, und we der Hörende daher den ursprünglichen Schall und auch Echo hören kann, so ist auch in diesem Falle 58,34 Par. die kürzeste Entfernung, auf welche sich der Hörende o der den Schall Erzeugende dem reflectirenden Gegenstande n hern darf, wenn der Schall und sein Echo unterschieden w den soll. Hierbei kann w den gröſsten Werth erhalten, we der Hörende und der den Schall erzeugende in einer gerad Linie liegen, woraus folgt, daſs man auf keine Weise der wi derhallenden Fläche näher kommen kann, als etwa 58 P. wenn man den ursprünglichen Ton gleichfalls hören will, ei in den meisten Fällen, mindestens bei groſser Annäheru an die reflectirende Fläche, nothwendige Bedingung, wesw

gen eine genaue Betrachtung des eigentlichen phonokamptischen Mittelpunctes und die bestimmte Kenntnifs solcher katakustischen Flächen fast eine Unmöglichkeit ist. Uebrigens giebt es in gewölbten Räumen allerdings Echo's, bei denen die Entfernung bis zur nächsten reflectirenden Fläche keine 58 P. F. beträgt, allein in diesen Fällen kommt der Schall nicht von der reflectirenden Fläche unmittelbar zurück, sondern wird von der ersten gegen eine zweite oder auch gegen mehrere geworfen, bis er zum Ohre zurückkommt.

Ist das phonokamptische Centrum nicht weiter entfernt, als erfordert wird, um die ausgesprochene Sylbe und die durch das Echo wiederholte einzeln zu verstehen, so hat man ein sogenanntes *einsylbiges Echo* (*echo monosyllaba*), können aber zwei oder mehrere Sylben auf diese Weise deutlich gehört werden, so hat man ein *vielsylbiges Echo* (*echo polysyllaba*). Diese Art der Bezeichnung ist zwar allgemein angenommen, und wird auch durch die individuelle Art der Prüfung der Echo's sehr natürlich herbeigeführt, allein sie ist durchaus unwissenschaftlich, und hindert die genauere Untersuchung der wiederhallenden Flächen. Man hat nämlich kein bestimmtes Mafs der Zeit, welche zum Aussprechen einer gewissen Menge von Sylben erfordert wird, deren Länge und Schwierigkeit des Aussprechens obendrein nicht gleich ist. Weifs man daher auch, wie viel Sylben ein Echo wiederholt, kennt man zugleich die Sylben, welche dasselbe deutlich wiedergegeben hat, so ist damit die Entfernung noch keineswegs gegeben, und noch nicht bestimmt, wo der phonokamptische Mittelpunct eigentlich zu suchen sey. Inzwischen sind die meisten Beobachtungen der Echo's auf dieses Mafs zurückgeführt, aber die Angaben selbst beweisen die Zweckwidrigkeit desselben. Blancanus [1] fordert 120 F. Entfernung für jede deutlich gehörte Sylbe; Mersenne [2] dagegen nur 69 Par. F.; John Morton [3] für ein einsylbiges 90 engl. F.; für ein zweisylbiges 105 F.; für ein dreisylbiges 160 F.; für ein viersylbiges 182 F.; für ein fünfsylbiges 204 F.; das Echo zu Oxen-

1 Echometria theoretica in seiner Sphaera mundi p. 5 Vergl. John Morton Natural History of Northamptonshire p. 358.

2 Brisson Dict. de Phys. art. Echo.

3 Natural Hist. of Northamptonshire. cap. V. p. 358.

don aber wiederholte bei einer Entfernung von 673 F. 13 S
ben. Dr. Plot [1] hörte bei dem berühmten Echo zu Wo
stock bei Oxford in einer Entfernung von 2280 F. bei T
17, bei Nacht 20 Sylben, welches 114 F. auf eine Sylbe
tragen würde. Ebell [2] beobachtete, dafs ein vorzüglic
Echo zu Derenburg die 27 Sylben *Conturbabantur Const*
tinopolitani innumerabilibus sollicitudinibus deutlich na
sprach, und doch fand er die Entfernung nur 254 Schri
welche er zu 550 F. annimmt. Rechnet man einen Sch
auch, wie früher bei manchem Militär, zu $2\frac{2}{3}$ F., so komm
dennoch nur 677 F. heraus, auf jede Sylbe aber nur 25
der Schall würde bei nur 5° C. Temperatur 1,3147 Secun
zum Durchlaufen dieses Raumes gebraucht haben, und es kä
somit auf jede Sylbe nicht völlig 0,05 also nicht ein hal
Zehntel einer Secunde, welches voraussetzen würde, dafs
mand 20 Sylben in einer Secunde aussprechen könnte. Fr
man aber, wie viele Sylben durch ein vollkommenes Sprac
organ in einer Secunde gesprochen werden können, so ist
Beantwortung dieser Frage abermals höchst schwierig, w
die Länge derselben, die Art und der Wechsel der Consona
ten in ihnen und die individuelle Uebung, welche man
Aussprechen derselben sich erworben hat, jede genaue B
stimmung unmöglich machen. Lichtenberg [3] giebt an,
Aussprechen der ersten zehn Zahlen oft mit Hülfe einer genau
Pendeluhr versucht, und gefunden zu haben, dafs er hier
im Mittel einer Secunde Zeit bedurfte. Diese 10 Sylben hab
eine sehr leichte Folge, und ein jeder hat sich an das Au
sprechen derselben sehr gewöhnt, allein es möchte denno
schwer halten, sie alle in dem angegebenen Zeitraume re
hervorzubringen. Hutton [4] dagegen meint, es würden g
wöhnlich nur 3 bis 4 Sylben in einer Secunde gesproche
und rechnet dann für 4 Sylben eine Entfernung des reflectire
den Körpers von 500 engl. Fufs, und in dem nämlichen Ve
hältnifs für mehrere Sylben. Dieses gäbe als gewifs nahe ric
tiges Mafs für eine Sylbe eine Entfernung von 125 engl.
und für Sylben eine Entfernung $= n \times 125$ F.

---

1 Natural Hist. of Oxfordshire. cap. 1. p. 7.
2 Lichtenberg vermischte Schriften VIII. 196.
3 Vermischte Schriften VIII. 221.
4 Dict. I. 449.

Will man indeſs die Entfernung der reflectirenden Fläche genau wissen, welches insbesondere dann von Wichtigkeit ist, wenn man den bestimmten reflectirenden Gegenstand zur nähern Untersuchung seiner Wirkungsart kennen lernen will; so muſs man nur *einen* Laut kurz aussprechen und das Zeitintervall zwischen diesem und dem ersten Schalle des Echo's wo möglich mit einer Tertienuhr, oder in Ermangelung dieser mit einer Secundenuhr durch Wiederholung des Versuches genau messen. Hat man auf diese Weise die Zeit in Secunden möglichst scharf bestimmt, die Temperatur der Luft nach Schätzung nahe richtig angenommen, so findet man die Entfernung des reflectirenden Gegenstandes $= \frac{z \times (1019,12 + t.\ 1,926)}{2}$ mit hinlänglicher Schärfe, wenn z die Zeit in Secunden, t aber die Grade der Temperatur nach der hunderttheiligen Scale bezeichnen.

In den wenigsten Fällen ist der Beobachter indeſs mit den hierzu erforderlichen Werkzeugen, namentlich einer richtigen Secundenuhr versehen, und doch wird es die Neugierde des wissenschaftlich Gebildeten reitzen, und den Wunsch, sich nützlich zu machen, in ihm erregen, wenn ihm zufällig die Gelegenheit geboten wird, ein vorzügliches Echo näher zu untersuchen. Um in diesem Falle eine genauere Zeitmessung zu suppliren, schlägt Lichtenberg[1] vor, sich überhaupt die Fertigkeit zu verschaffen, eine gewisse Menge Wörter gleichmäſsig auszusprechen, um hiernach in vorkommenden Fällen die Zeit zu messen, und er bringt hierzu die Zahlen von eins bis zehn in Vorschlag, welche man alle oder deren so viele wählen könnte, als man sich gerade gewöhnt hat, in einer Secunde bequem auszusprechen. Daſs man durch dieses bekannte Mittel allerdings ein ziemlich genaues Zeitmaſs erhalten kann, ist gewiſs, allein es läſst sich nicht gut auf Theile einer Secunde ausdehnen, wenn gleich ganze Secunden scharf genug dadurch gemessen werden können. Noch besser dürfte es daher seyn, sich einer gewöhnlichen Taschenuhr zu bedienen, bei derselben vorher oder nachher die Menge der Schläge der Unruhe zu bestimmen, welche auf eine Minute gehen, dann durch Division den Werth eines einzigen Schlages zu finden, welcher meistens 0,25 Secunden beträgt und hierdurch also ein weit genaueres, obgleich bei dem unregelmäſsigen Gange schlechterer

1 a. a. O.

Uhren nicht ganz zuverlässiges Maſs kleiner Zeittheilch
erhalten. Die Bestimmung der Temperatur bleibt imm
was unsicher, allein man wird dennoch die Entfernung
Echo's nach der angegebenen Formel nahe richtig bere
und mit einer auch nur unvollkommenen Messung vergl
können. DERHAM hielt diese Art der Messung durch da
intervall zwischen Ton und Wiederhall für so genau, d
umgekehrt die Breite der Themse bei Woolwich durc
Ausbleiben des Echo's auf dem jenseitigen Ufer maſs [1].

Rücksichtlich der Entfernung der reflectirenden Fläc
endlich noch Folgendes zu berücksichtigen. Manche vi
bige Echo's werden durch Gegenstände erzeugt, welche
in sehr groſser Entfernung befinden, wie schon aus der M
der wiederholten Sylben von selbst folgt. Unter den ang
benen Echo's war das zu Oxendon 673 F., das bei Wood
2280 F., das bei Derenburg 677 F. entfernt. DERHAM u
suchte ein Echo, Woolwich gegenüber, und fand, daſs
über die Themse gehende und wiederkehrende Schall
kurz ausgesprochenen Sylbe drei Secunden ausblieb [2], we
für eine mittlere Temperatur von 15° C. eine Entfernung
1575 F. voraussetzt. Bei den meisten der genannten m
die Versuche wohl mit einem Sprachrohre angestellt seyn,
so läſst sich also nicht entscheiden, ob die Entfernung, we
der Schall zu durchlaufen hatte, gröſser war, als wohin
Stimme eines Menschen reicht. Am auffallendsten aber
am unerklärlichsten ist das Phänomen, welches das Echo
Derenburg darbot. Es ist nämlich schon oben bemerkt,
die Entfernung der reflectirenden Mauer mit der Zahl der w
derholten Sylben in gar keinem Verhältnisse steht, denn w
auch angenommen würde, daſs EBELL zehn der angegeb
Sylben in einer Secunde ausgesprochen habe, so setzt di
doch eine Entfernung von mindestens 1050 F. voraus, we
mit der Messung im Widerspruche steht. Sollten beid
Uebereinstimmung gebracht werden, so müſste man ann
men, der Schall sey zuvor von den einzelnen Theilen
Mauer so lange hin und her geworfen, bis er zum Ohre zurü
kommend die Länge des angegebenen Weges zurückge

---

1 HUTTON Dict. I. 449.

2 Ebendaselbst.

habe. Bei den vielfachen Echo's kommt die nämliche Frage in Betrachtung, Angenommen nämlich, die Entfernung der ersten reflectirenden Fläche sey die kleinstmögliche, so gäbe dieses 58 F., und wenn dann diese zehnmal in einer Secunde wiederholt würde, so müfste der Schall der letzten Wiederholung noch aufserdem einen Raum von 1050 F., im Ganzen also 1108 F. durchlaufen haben. Wird aber der Schall durch die Reflection nicht verstärkt, so kann die erste Sylbe nur so gehört werden, als käme sie von einem 116 F. entfernten Menschen, folglich betrüge der ganze durchlaufene Raum in dem angegebenen Falle 1166 F. Wie weit die Menschenstimme im Freien reiche, ist zwar nicht genau ausgemacht, indefs kann mit LAMBERT[1] im genäherten Werthe etwa 800 F. angenommen werden; dann folgt aber, dafs die meisten vielsylbigen und vielfachen Echo's gar nich gehört werden könnten. Das Echo bei Derenburg machte aber nicht blofs stark gerufene Laute wiederhallen, sondern selbst das Stampfen und Schnaufen der Pferde wurde von demselben wiederholt, und überhaupt darf man im Allgemeinen annehmen, dafs gute und vorzüglich helle Echo's die Laute stärker wiederhallen, als sie auf die doppelte Entfernung gehört werden würden, ja sogar zuweilen die Worte vernehmlicher wiedergeben, oder mindestens wiederzugeben scheinen, als sie ursprünglich gesprochen sind. Ein auffallendes und interessantes Beispiel hiervon giebt das ausnehmend schöne Echo, welches in der Mitte der neu erbauten katholischen Kirche in Darmstadt gehört wird, und ganz entschieden durch die Reflection der Schallwellen von der gewölbten Kuppel entsteht. Diese Kuppel ist 150 F. hoch, und der Schall mufs also hin und her gehend 300 F. durchlaufen, eine Strecke, auf welche man einen im Freien Redenden nicht zu hören vermöchte. Dennoch ist der Wiederhall des Echo's so laut, klar und vernehmlich, dafs die ursprünglichen und die reflectirten Worte von einem wenige Fufs von dem Redenden entfernt Stehenden mit gleicher Stärke gehört werden.

Was für eine Ursache diese Verstärkung des Schalles herbringe, ist deswegen schwer zu bestimmen, weil wir die eigenthümliche Art der Reflection des Schalles durch die verschiedenen Körper nicht kennen; auch ist mir nicht bekannt,

---

1 LICHTENBERG a. a. O. p. 213.

dafs aufser Lichtenberg die Physiker eine Erklärung di
Sache versucht haben. Dieser findet die Ursache der Vers
kung theils in den kleinen ausgehöhlten Räumen verwitte
Mauern mit ihren vielen, im zerfallenen Mörtel hervorrag
den Steinchen, wodurch eine sehr grofse Menge solcher E
nen gebildet werden, welche die auffallenden Schallstral
zum Ohre des Hörenden reflectiren. Auf gleiche Weise
len auch die vielen Ebenen, welche namentlich Tannenbäu
mit ihrer rauhen Rinde bilden, zur Erzeugung eines stark scl
lenden Echo's vorzüglich geeignet seyn. Ferner meint Li
tenberg, dafs schräg auffallende Strahlen, welche also n
reflectirt werden können, doch eine Bebung der Mauer erz
gen, und hierdurch die Reflection verstärken[1].

Hierin liegt allerdings viel Wahres, und namentlich
der erste Grund manches für sich, sofern das Echo durch e
gerade Mauer hervorgebracht wird, von welcher nicht vi
Schallstrahlen reflectirt werden könnten, wenn sie als vö
eben und gleichsam spiegelnd gedacht würde; in welch
Falle also die nach allen Richtungen liegenden Ebenen
verwitterten Theile und hervorstehenden Steinchen eine gro
Menge solcher Flächen darbieten müfsten, von denen der e
fallende Schallstrahl zum Ohre des Hörenden reflectirt wür
Im Allgemeinen aber scheinen mir folgende Ursachen zur u
leugbaren Verstärkung des Schalles durch katakustische Gege
stände beizutragen:

1. Sobald die Luft nicht völlig frei, sondern gegen ein
festen Körper gestützt ist, sich also nach L. Euler's, Chladn
und Poisson's oben mitgetheilter Ansicht in einer an eine
Ende verschlossenen, am andern unendlich langen offen
Röhre befindet, mufs die rückwärts gehende Fortpflanzung d
Schalles deswegen vermehrt werden, weil die Wellen desse
ben einen Widerstand finden. Befinden sich noch aufserde
an den Seiten Bäume oder sonstige feste Gegenstände,
gleicht die Luft um so mehr einer in eine Röhre eingeschlo
senen, und die Schallwellen werden daher weiter fortgepflan
werden, da nach den Versuchen von Biot[2] die Entfernun
bis auf welche der Schall durch enge Röhren fortgeleitet wir
unbegrenzt ist.

---

1 a. a. O. p. 214.

2 Vergl. *Schall; Fortpflanzung desselben.*

2. Die reflectirenden Flächen sind meistens gekrümmt, sammeln daher mehrere Schallstrahlen, und wenn gleich ein einzelner derselben auf die gegebene Weite verschwinden würde, so macht doch die vereinte Menge den Schall hörbar und lauter. Sie gleichen in gewissem Sinne den Sprachgewölben, wie namentlich bei dem erwähnten Echo in Darmstadt der Fall ist.

3. Eine Hauptsache aber ist die Mitwirkung der Bebungen, worein die reflectirenden Körper gesetzt werden, und wodurch sie eine Art Resonananz hervorbringen. Dafs solche Schwingungen wirklich statt finden, darf in Folge der oben erwähnten Beobachtungen von Hassenfratz und der zahlreichen Versuche von Chladni und Savart nicht bezweifelt werden. Von welchem Einflusse auf die Stärke des Schalles aber die Bebungen derjenigen Theile sind, welche bei der Erzeugung eines Tones zugleich mit in Schwingungen versetzt werden, beweisen insbesondere die Resonanzböden, ohne deren Mitwirkung viele Instrumente dumpf tönend und kaum hörbar seyn würden. Einen Beweis hiefür geben ferner die neuen, und daher noch mehr elastischen Wände unbewohnter Häuser durch den unglaublichen Wiederhall, welchen sie erzeugen, und wenn Lichtenberg die Ursache des Erfahrungssatzes, dafs alte Mauern am leichtesten ein Echo geben, in der Rauheit ihrer Oberfläche und der dadurch vermehrten Zahl der reflectirenden Flächen findet, so mag dieses allerdings gegründet seyn, allein es ist gewifs zugleich mehr als wahrscheinlich, dafs auch ihre vermehrte Elasticität hierbei wirksam ist, wodurch sie leichter und stärker schwingen, folglich auch eine gröfsere Resonanz erzeugen, indem bei alten Mauern der Mörtel ganz erhärtet ist, und mit den Steinen eine gemeinschaftliche steinartige Masse bildet.

Giebt es mehrere Körper, welche den Schall auf einen einzelnen Punct reflectiren, und liegen diese in ungleichen Entfernungen, oder werden einige Schallstrahlen nach einer einzigen Reflection, andere nach mehreren zum Ohre zurückgeworfen, so entsteht ein zwei- oder vielfaches Echo. Eigentlich kann man dabei so viele Echo's annehmen, als Wiederholungen statt finden, denn eine jede von diesen setzt einen besonderen reflectirenden Gegenstand voraus, oder hat ein eigenthümliches phonokamptisches Centrum, und es ist daher auf eine jede derselben alles dasjenige anwendbar, was oben

vom einfachen Echo gesagt ist. Die vielfachen sind d gleichfalls einsylbig und mehrsylbig, jedoch können sie w der sonst erforderlichen langen Zeit des Ausbleibens der let Wiederholungen nicht füglich so vielsylbig seyn, als die fachen. Weil ferner der Schall so viel schwächer we muſs, je gröſser der Weg ist, welchen derselbe durchl so folgt hieraus nothwendig, daſs die letzten Wiederholun des vielfachen Echo's weniger vernehmlich sind, wesw auch zahlreichere Wiederholungen bei einem starken Sch gehört werden, als bei einem schwachen, auch mehrere selben in der Stille der Nacht als bei Tage. Im Allgemei sind die Wiederholungen ungleich an der Zahl, indem deren von zwei bis dreiſsig und sechzig, ja noch wohl m gefunden haben will, wovon einige jedoch nur dadu erklärlich sind, daſs die Schallstrahlen von zwei parall phonokamptischen Flächen dem zwischen ihnen befindlic Ohre auf gleiche Weise vervielfältigt zugeworfen werden, eine unendliche Menge Bilder des nämlichen Gegenstandes zwei parallelen Spiegeln zu dem zwischen ihnen befindlic Auge gelangen müssen[1].

3. Merkwürdige Echo's.

Es ist oben schon angegeben, daſs man unter Echo a denjenigen Ort versteht, wo sich ein den Schall reflectiren Gegenstand befindet, oder wo man ein Echo hört. Solche Oer oder sogenannte Echo's sind in Menge vorhanden, und ihre Z würde übermäſsig groſs werden, wenn man auch nur die vo züglichern aufzuzeichnen sich die Mühe geben wollte. giebt es namentlich hier in Heidelberg ein merkwürdiges Ec welches sehr geeignet ist, das Rollen des Donners und abwechselnde Verstärkung und Schwächung seines Schal anschaulich zu machen. Ein Pistolenschuſs nämlich, von ein etwas tieferen Stelle des Heiligenberges ausgehend, wird a einer gegenüberliegenden Bergschlucht reflectirt, so daſs m etwas weiter aufwärts, zur Seite und hinter dem schallend Gegenstande, den Knall des Geschützes nicht selbst hört, wo aber den Wiederhall desselben, und zwar ganz eigentlich do nerähnlich mit einigen wiederkehrenden Verstärkungen bis zu

1 Vergl. *Spiegelcabinet.*

allmäligen Verschwinden. Solche Echo's giebt es gewifs noch viele; indefs wird es genügen, blofs diejenigen namhaft zu machen, welche schon von alten Zeiten her eine gewisse Celebrität erhalten haben. Aufser den schon erwähnten erzählt GASSENDI[1] von einem Echo beim Grabmale der METELLA, Gemahlin des CRASSUS, welches den ersten Vers der Aeneide achtmal wiederholte. Zu Rosneath bei Glasgow wiederholt ein Echo die Töne eines Instrnmentes dreimal deutlich; auch soll bei Cyzicus ein siebenfaches und bei Brüssel ein funfzehnfaches Echo seyn[2]. Aus CASPAR BARTH[3] ist das schöne Echo am Rhein an den Ufern der Naha zwischen Coblenz und Bingen bekannt, welches ein Wort 17 mal wiederholt. Man hört dabei denjenigen, welcher redet oder ein Instrument bläst, wenig oder gar nicht, das Echo aber sehr deutlich und mit vielfachen Verschiedenheiten, indem die Stimme desselben bald näher, bald ferner herzukommen scheint, zuweilen sehr laut, dann wieder leiser tönt, auch glauben verschiedene Personen das Echo, die eine links, die andere rechts zu hören u. s. w. Diesem ähnlich ist das Echo zu Genetay, welches der Benedictiner QUESNET[4] beschrieben hat. Derjenige, welcher singt, hört dabei nur seine eigene Stimme, die Zuhörer aber an den geeigneten Stellen nur den Wiederhall, und gleichfalls so, dafs das Echo sich bald zu nähern, bald zu entfernen scheint; der eine hört nur ein einfaches, ein anderer ein mehrfaches Echo, dieser zur Rechten, jener zur Linken. QUESNET erklärt dieses sehr gut aus der länglichten Gestalt des Hofes und der ihn einschliefsenden Gebäude. Ein gleichfalls ausgezeichnetes Echo bei Verdun ist durch TEINTÜRIER[5] beschrieben. Dieses wird durch zwei vom Hauptgebäude getrennte Thürme gebildet, 26 Toisen von einander abstehend, der eine mit einem niedrigen gewölbten Zimmer, der andere mit einem gewölbten Eingange. Stellt man sich in die Mitte zwischen beide, so hört man ein laut geredetes Wort 12 bis 13 mal in gleichen Zwischenräumen stets schwächer wiederholt. Tritt man auf einige Entfernung aus der Verbindungslinie beider Thürme, so hört

---

1 In Anmerk. zu Diogenes Laertius. Lib. X.
2 HUTTON Dict. I. 449.
3 Statii Thebais. XI. v. 30. Anm.
4 Mém. de l'Ac. 1692. II. 87. X. 127.
5 Ebend. 1710. p. 18.

das Echo ganz auf, kommt man aber auf eine Linie zwis dem Hauptgebäude und einem der Thürme, so hört man einfaches Echo. Hier müssen also die beiden Thürme sich Schallstrahlen wechselsweise zuwerfen.

Eins der berühmtesten und schönsten Echo's ist das l Schlosse Simonetta unweit Mailand, wovon schon Kirc und Schott reden[1]. Es wird durch die beiden vorsprin den Flügel des Schlosses gebildet, und wiederholt einen Pi lenschuſs aus einem der Fenster des Hauptgebäudes 56 eine Angabe, welche Addison[2], Misson[3] und Mongé[4] be tigt fanden. Bernoulli[5] aber will sogar eine 60fache W derholung gehört haben. Bei Andersbach in Böhmen ist merkwürdiges Echo. Einzelne Felsen, in einem Umkreise fast 3,5 deutschen Meilen zerstreut, bilden das Gerippe e Berges, und ragen gröſstentheils bloſs mit ihren nackten Spit empor. Da wo sich diese Felsengruppe schlieſst, ist das E welches 7 Sylben dreimal wiederholt, ohne sie im minde zu verwirren. Das phonische Centrum ist in einer klei Entfernung von der höchsten Felsenspitze; dort stehend l man auch leise gesprochene Worte sehr deutlich, entfernt r sich aber nur einige Schritte nach der einen oder der and Seite, so giebt selbst ein Pistolenschuſs kein Echo[6]. Di bildet also gleichsam den Uebergang zu den Sprachgewölbe

Einige der genannten Echo's, insbesondere die durch (bäude erzeugten, existiren nicht mehr, oder sind wenigst durch die allmälige Veränderung der reflectirenden Geg stände gleichfalls bedeutend verändert. Sie haben indeſs e mal eine geschichtliche Celebrität erhalten, und können : Vergleichung mit andern neu aufgefundenen dienen.

Ein *tonisches Echo* nennt man das Wiederhallen gl cher oder harmonirender (consonirender) Töne durch sol Körper, welche durch die sie treffenden Schallwellen lei selbst in Schwingungen versetzt werden, z. B. musikalisc Saiteninstrumente, Glocken u. dgl. m. Sie hallen hauptsächli

---

1 Southwell in Phil. Trans. XLIV. N. 480. p. 220.
2 Travels. p. 32.
3 Voyage d'Italie. II. 196.
4 Encyclop. Méthod. III. 25.
5 Zusätze zu Volkmann's Reisen p. 100.
6 Bibliothèque Brit. IX. 292.

diejenigen Töne wieder, welche mit ihrer eigenen Stimmung übereinkommen, oder wenn die letzte allgemein ist, wie beim Forte-Piano, so hört man durch einen reinen und etwas starken Ton meistens den harmonischen Dreiklang desselben erzeugt[1].

In der ausübenden Musik heißt Echo die Nachahmung des gemeinen Echo's durch leise Wiederholung der Töne, welche man in abnehmender Stärke öfters wiederholt und allmählig verschwinden läßt. In der Baukunst nennt man Echo eine solche Einrichtung der Gebäude, vermöge welcher sie den Schall verstärkt wiedergeben[2]. *M.*

Echometer. S. *Metronom.*

Edelstein.

Gemma; pierre precieuse; *precious stone.* Hierunter versteht man jedes seltenere Mineral, welches sich durch Härte, Glanz, Durchsichtigkeit, Farblosigkeit oder angenehme Färbung oder Farbenspiel, oder wenigstens durch einige dieser Eigenschaften auszeichnet, und sich hierdurch zur Anwendung als Schmuck eignet. Man rechnet hierher den Türkis, den Opal, den Quarz (als Bergkrystall, Amethyst, Citrin, Rauchtopas, Morio, Rosenquarz, Prasem, Katzenauge, Aventurin, weißen Chalcedon, Carneol, Heliotrop, Plasma, Chrysopras, Onyx und Sardonyx), den Zirkon (mit Inbegriff des Hyacinths), Smaragd (mit Inbegriff des Berylls) Topas (mit Inbegriff des Aquamarins) Cyanit, Chrysoberyll, Feldspath (als Adular, Labradorstein und Amazonenstein) Turmalin, Jolith, Lasurstein, Kaneelstein, Granat, Chrysolith, Sapphir (als blauer, grüner, gelber, rother und als Sternsapphir) Spinell und Diamant. *G.*

Einfallsloth.

Cathetus incidentiae; la perpendiculaire à la surface réfringente ou réfléchissante; *the Perpendicular*; ist die Senkrechte, welche auf einer brechenden oder zurückwerfenden Ebene da errichtet wird, wo der auffallende Lichtstrahl diese Ebene trifft. Ist die Fläche, auf welche der Licht-

1 Vergl. *Resonanz.*

2 Vergl. *Sprachzimmer.*

strahl auffällt, gekrümmt, so ist das Einfallsloth senkrecht die berührende Ebene des Punctes, wo der Strahl auffällt.

Einfallspunct.

Punctum incidentiae; point d'incidence; *point incidence.* Der Punct, wo der Lichtstrahl die brech oder zurückwerfende Ebene trifft. *I*

Einfallssinus.

Sinus anguli incidentiae; Sinus de l'angle d'inciden *the sine of incidence.* Der Sinus des Einfallswinkels, dessen Gröfse bei der Brechung der Lichtstrahlen die Gröfse Brechung abhängt. *B*

Einfallswinkel.

Angulus incidentiae; angle d'incidence; *angle incidence;* ist bei Lichtstrahlen, die auf eine Ebene fall der Winkel, *den der Strahl mit dem Einfallslothe mac* Dieser Winkel heifst auch zuweilen der Neigungswinkel.

Bei einigen Schriftstellern bedeutet dagegen das Wort E fallswinkel denjenigen Winkel, den der Strahl mit der breche den oder zurückwerfenden Ebene selbst macht. Man fin zwar leicht, in welcher Bedeutung jeder Schriftsteller das W nimmt, indeſs sollte man im Schreiben es immer in der erst Bedeutung nehmen, da dies der herrschende Gebrauch is *B.*

Einklang. S. *Ton.*

Einschattige.

Heteroscii; Heterosciens; *Heteroscii;* (von ἕτερος d andere, der eine von zweien, und σκιά der Schatten) heiſs in der Geographie diejenigen Bewohner der Erde, welche u Mittag allezeit in Rücksicht auf sie selbst den Schatten nach d nämlichen Seite, in Rücksicht auf die Bewohner der ande Halbkugel aber nach entgegengesetzten Richtungen werfen. Je nes erstere liegt bei der deutschen, das Letztere bei der late nischen Bedeutung des Wortes zu Grunde. Einschattige sin demnach die Bewohner der gemäſsigten Zonen, insofern il

Schatten nur nach einer Seite fällt, nämlich der auf der nördlichen Halbkugel nach Norden, der auf der südlichen nach Süden; Heteroscii aber heifsen sie, insofern jeder von beiden von den zwei entgegengesetzten Schatten einen andern erzeugen. Die Namen sind übrigens ohne allen weiteren Werth. *M.*

Eintritt.

Immersio; Immersion; *Immersion*; s. *Austritt*, wo alles hierher Gehörige mit erwähnt ist. *B.*

Eis.

Glacies; Glace; *Jee.* Wasser, das aus dem flüssigen Zustande in den festen übergegangen ist; *gefrornes Wasser.* Ein meistens ganz durchsichtiger, farbloser Körper, von ziemlicher Festigkeit, und sehr glatter Oberfläche.

Die wesentliche Bedingung dieser Veränderung des Aggregatzustandes der Wasserpartikeln ist *Entziehung der Wärme bis zu einer bestimmten unveränderlichen Temperatur*, welche wir auf unsern Thermometerscalen den *Eispunct* nennen, und der einen der fixen Puncte ihrer Eintheilung bildet. *Ueber* dieser Temperatur gefriert das Wasser niemals, und wir kennen keine mit demselben mischbare oder auflösliche Substanz, welche seinen Gefrierpunct erhöhen könnte. Dagegen giebt es Fälle, wo das Wasser, zumal in verschlossenen Gefäfsen, bis nahe an 12 Gr. des 80theiligen Thermometers *unter* den Gefrierpunct, erkältet werden kann, ohne in festen Zustand überzugehen: Mechanische Erschütterung, Zutritt der kalten Luft, Berührung mit einem kalten Körper, namentlich mit einem Stücke Eis, bewirken dann ein plötzliches Gefrieren.

So schnell und bestimmt dieser Uebergang vom flüssigen Zustande in den festen ist, so scheint er dennoch Folge einer durch den Abgang der Wärme vorbereiteten Aenderung in der inneren Anordnung der Molecülen des flüssigen Körpers zu seyn. Wenn[1] nämlich *reines* Wasser von mittlerer Temperatur allmählig erkaltet, so zieht es sich immer enger zusammen, und wird specifisch schwerer, bis zu einer Temperatur von 3°,5 R. Hier ist das Maximum seiner Dichtigkeit. Dann dehnt es sich wieder aus bis zum Gefrierpuncte oder 0° R. nach RUMFORD um

1 S. Parrot Physik II. p. 58.

$\frac{1}{3226}$ oder 0,00031, nach DALTON[1] um etwa $\frac{1}{160}$ der Aus nung zwischen 3°, 5 R. und dem Siedepuncte, also um 0,0 oder 0,00028 seines Volums[2]. Hat das Wasser die Tempe 0° R. erreicht, so bilden sich allmälig vom Stande des Gef aus *feine Nadeln* oder *längliche Krystalle*, selten in senkrec meistens in schiefen Richtungen gegen den Rand[3]; ihre W kelräume füllen sich mit zärtern Nadeln aus, die ebenfalls u schrägen Winkeln von den Hauptkrystallen abgehen, und ganze gedrängte Büschel bilden. Zuweilen bilden sich das einzelne fünf- oder sechseckige Sterne, deren Strahlen jed meistens von ungleicher Länge, einige gar nicht ausgebildet s Zusehends nehmen die ersten Krystalle an Stärke zu, Zwischenräume füllen sich mit mannichfachen Gruppen za sich durchkreuzender Zweige und Büschel, bis zuletzt Raum ausgefüllt ist, und das Gewebe eine *zusammenhänge Haut* über die Oberfläche des Wassers bildet, wobei denn f lich, so wie diese an Dicke und Vollständigkeit zunimmt, j zierlichen Krystallisationsgebilde sich verwirren und endl ganz zusammenwachsen und verschwinden[4].

Nunmehr setzt sich die Krystallbildung *auch unterw* fort, so dafs die Eisrinde immer durchgehends die *nämli Dicke* behält, und nur am Rande oder bei Berührung von fes Körpern etwas dicker wird. Die mannichfache Durchkreuz jener Strahlen und Figuren bilden dann körperliche Zwisch räume, deren Winkel sich mit Eistheilen ausfüllen, so dafs s dadurch runde und ovale *Blasen* im Eise bilden, welche d selbe undurchsichtig machen, und deren Gröfse und Menge der Kälte oder der Beschleunigung des Gefrierungs-Processes wachsen scheint.

1 Mem. of the Soc. of Manchester. V. p. 294. Uebers. in Ann. XIV. p. 294.

2 Die Formeln und Tafeln T. I. pag. 615 dieses Wörterbu geben nur 0,00012.

3 Diese ersten Aeste sind meistens geradlinigt, doch bild sich auch zuweilen ganz schmale geschweifte Zweige, an der Se mit feinen Federchen versehen, ähnlich den Figuren an gefrorn Fensterscheiben.

4 Beim Gefrieren grofser Wasserflächen. Z. B. auf Seen s diese Bildung einer Haut zuweilen plötzlich mit sichtbarer Schnelli keit vor sich gehen, wie wenn das Wasser mit einem Tuch übe zogen würde.

Während dem Gefrieren, selbst wenn keine Blasen wahrzunehmen sind, *dehnt sich das Wasser immer mehr aus*, so dafs es nach Dalton[1] bei — 10° R. und + 19° R. nahe die nämliche Dichtigkeit hat. Eine mit feinen Eisnadeln erfüllte, bis auf — 11° R. erkältete eingeschlossene Wassermasse, zeigte im Augenblicke des Gefrierens eine Ausdehnung, welche derjenigen gleich kam, die einer Temperatur von + 42°, 6 R. zugehört[2]. Doch ist es wahrscheinlich, dafs, zumal bei schneller Eisbildung, die Ausdehnung unterhalb des Maximums der Dichtigkeit in stärkerm Verhältnisse zunehme, als oberhalb desselben, da das *specifische Gewicht des Eises* zwischen 0,95 und 0,89 variirt.

Im Augenblicke des Gefrierens ist die *Temperatur des Eises immer gleich Null* der 80theiligen oder 100theiligen Scale, und, wenn es vorher im flüssigen Zustande eine bedeutend niedrigere Temperatur hat, so erhebt sich dieselbe im Momente des Erstarrens bis auf den Nullpunct. Auch die *Ausdünstung* wird dann stärker, als in den nähern Temperaturen über dem Nullpuncte.

Diese Erhebung der Temperatur ist eine Folge *der beträchtlichen Wärme, welche aus dem Eise im Augenblicke des Festwerdens sich entbindet,* und die nach Versuchen auf 60° R. oder zwei Dritttheile der Thermometerscale zu setzen ist.

Dieses sind die vornehmsten Erscheinungen, welche bei der Bildung des Eises sich darbieten. Es lohnt sich der Mühe, dieselben nach dieser cursorischen Uebersicht näher zu betrachten.

Erkältung des Wassers bis zum Eispuncte und unter denselben.

Rumford hat durch zahlreiche Versuche dargethan, dafs die Verschiedenheit der Temperatur in den Theilen einer Wassermasse verticale Strömungen hervorbringe, indem das schwerere Wasser herabsinkt, das leichtere hinaufsteigt. Da die Erkältung gemeiniglich an der Oberfläche der Flüssigkeit und den Wänden des Gefäfses zuerst sich äufsert, so werden die äufsern Wassertheile schwerer, und sinken an den Wänden herab, während dem das minder erkältete Wasser durch die Mitte

1 G. Ann. XIV. 296.

2 Nach der Tafel T. I. p. 616. dieses Wörterbuches = 0,01334.

hinaufsteigt, um an der Oberfläche einen Theil freier W an die kältere Luft abzugeben und dann am Rande wieder derzufliefsen. Diese Wanderung dauert so lange fort, bi Wassertheile das Maximum der Dichtigkeit errreicht haben, die ganze Masse bis + 3°,5 R. erkältet ist. Erst jetzt kan Oberfläche noch unter die 3°,5 R. erkältet werden, und e die Möglichkeit des Gefrierens ein; dieser einfache Hergan klärt zugleich auch, warum seichtes Wasser viel früher al fes gefriert, und in Flüssen und Seen das Eis zuerst am sich bildet. So wird der Umstand, dafs das schwerste W immer noch eine Temperatur von 3½° R. über dem Eispunct hält, ein Mittel zur Erhaltung der stehenden Gewässer, w sonst von Grund aus frieren, und eine Eismasse bilden wü die mehrere Sommer nicht mehr zu schmelzen vermöchten.

Auch bei kleinern Wassermassen, welche in Gefäfsen allseitigen Zutritt der Kälte ausgesetzt werden, findet aus angeführten Gründen die erste Eisbildung ebenfalls an der O fläche und an den Wänden des Gefäfses statt, und der wär Strom in der Mitte macht sich durch späteres Gefrieren, und von der Ausdehnung des Eises herrührende Aufthürmung k bar. Die Schwierigkeiten, welche die Bildung einzelner theilchen jenen Strömungen entgegen setzt, macht dafs die reits frei gewordene Wärme sich nicht nach der Aufsenfl begeben und aus der Masse entfernen kann, und so bleib *ruhigstehenden verschlossenen* Gefäfsen ein merklicher Theil Wassers noch ungefroren, indem es jene 60 Grade *latenter* W me noch festhält, selbst wenn seine Temperatur bedeut unter den Nullpunct herabgesunken ist. Fahrenheit ist Erste, der (am 2. März 1721) diese Erscheinung wahrnah Er hatte in einer Glaskugel von 1 Zoll Durchmesser eine Por Regenwasser durch Zuschmelzen während des Kochens luft eingeschlossen, und fand bei einer Kälte von — 7°,5. R. d selbe dennoch flüssig. Als er die Spitze der angeschmolze Röhre abbrach, so erfüllte sich die Kugel augenblicklich sehr kleinen Eissplittern. Er schrieb anfangs das Nichtgefrie dem Mangel an Luft zu; allein als er später beim Wegtra einer solchen erkälteten Kugel stolperte, überzeugte er sich, nur die Ruhe das Gefrieren verzögert habe, und jede Ersch

1 Philos. Transact. 1724. Nr. 382. Vol. XXXVIII. p. 78.

rung dasselbe sogleich hervorrufe. Ein Thermometer in diese Eisbildung gehalten, stieg sogleich auf Null.

Martin Triewald, Maschinen-Director des Königs von Schweden[1] fand im December 1729 dafs das Wasser in einem [illegible]schen Gefäfse mit Cartesianischen Männchen in starker Kälte ungefroren blieb, aber sogleich erstarrte, als er mit der Hand auf die Blase drückte. Musschenbroeck[2] setzte Wasser in wohl verstopften Flaschen die Nacht über starkem Froste aus, und sah dasselbe beim Ausziehen des Stöpsels in einer Minute mit unzähligen Eissplittern sich füllen. Mairan[3] sah dieselben bei Erschütterung des Gefäfses durch eine zitternde Bewegung der Hand, und Anklopfen mit einem Schlüssel sich bilden, am schnellsten aber durch Berührung des Wassers mit der Spitze eines Eiszapfens; und er weifs die Schnelligkeit, mit welcher die Bildung der Eissplitter und die daraus entstehende Undurchsichtigkeit des Wassers von der Oberfläche bis zum Boden des Gefäfses sich fortpflanzte, mit nichts besser zu vergleichen, als mit der Entzündung des Schiefspulvers. Späterhin bemerkte Brugmanns[4] Professor in Gröningen, dafs ein Wasserhammer selbst in einer Kälte von −10°,7 R.[5] ungefroren blieb, und erst dann in Eis überging, als er denselben sachte umwendete. Ebendasselbe fanden im Jahr 1769 die Herren Coopmanns und Bacot in Gröningen bei wiederholten Versuchen[6]. Bei allen diesen Versuchen wurde die eigentliche Temperatur des ungefrornen Wassers nur durch äufsere Thermometer ausgemittelt; einzig Micheli du Creot[7] hatte die Sorgfalt, ein Thermometer in die Flüssigkeit selbst zu hangen; es sank bis auf — 4°,0 R. und erhob sich bei der Eisbildung sogleich auf 0°. R. Eben dieses bestätigte auch Delüc[8], der in einem Kolben, worin ein Thermometer stand, Wasser von Luft gereinigt, einer Kälte von — 5° R. mehrere Tage lang aussetzte. Durch Berührung mit einem Stückchen Eise fror ein Theil davon plötzlich; der Rest erhielt die Temperatur des Ge-

1 In s. Briefe an Hans Sloane Philos. Trans. XXXVII. Nr. 418. p. 80.

2 Additamentum ad tentem. Acad. del Cimento. p. 186.

3 Dissert. sur la glace Part. II. Chap. III. et IV. p. 203.

4 Van Swinden Observ. sur le froid rigoureux du mois de Janv. 1776. p. 274.

5 Nicht — 11°, 7 R. wie es in der ältern Ausgabe des Gehler'schen Wörterbuchs steht.

6 Van Swinden ibid. p. 275.

7 Mairan vom Eise (deutsche Uebersetzung) p. 165.

8 Idées sur la Météorologie I. §. 207.

frierpunctes und fror allmählig ganz zu, worauf das Ther
meter der äufsern Temperatur folgte. DELÜC[1] erklärt hie
wie im Luftkreise Bläschen von flüssigem Wasser existiren
nen, wenn gleich die Temperatur beim Gefrieren ist, weil
Bildung des Eises aufser dem Erkalten noch irgend ein and
bestimmender Umstand nöthig sey. Wirklich mufs man
einem solchen sich umsehen, wenn man das Bestehen e
dichten Nebels bei einer Kälte von — 10°, — 11° und — 1
wie er unter andern am 13. und 30. Januar d. J. 1826 statt f
sich erklären will.

In England hatte BLAGDEN[2] Fahrenheit's Versuche
mannigfachen Abwechslungen wiederholt. Destillirtes Wa
liefs sich bis auf 4° R. nach dem Kochen bis auf — 5° R.
kälten; hartes Brunnenwasser nur bis — 3° und 3½° R.; tri
Flufswasser gefror beim Nullpuncte. Trübung schien ein
ständiges Hindernifs dieser Erkältungsfähigkeit zu seyn, we
hingegen durch Säuren und Salzauflösungen verstärkt wu
BLAGDEN fand, dafs zwar die Ruhe der Erkältung günstig,
aber, wie bereits WILKE[3] bemerkt hatte, eine Bewegung, v
che die innern Theile gemeinschaftlich ergreift, das Gefrie
nicht herbeiführe. Wasser bis — 5° R. erkältet, ertrug F
teln des Bechers, Umrühren mit einem Federkiele, Anbla
der Oberfläche, ohne zu gefrieren. Dagegen brachte eine
scheinend schwächere, aber die innern Theile *ungleich*
schütternde Bewegung, z. B. Aufstofsen des Bechers mit
Boden, Anstofsen des Arms, der den Becher trug, Reiben
dem Federkiel oder mit Wachs an der Seite des Bechers
Gefrieren sogleich zu wege. Am schnellsten erfolgte die
wenn man das Wasser mit einem Stückchen Eis berührte:
breiteten sich von der berührten Stelle sogleich die schöns
Eiskrystalle aus, und das Thermometer erhob sich alsobald
von — 5° R. auf 0°. In neuern Zeiten hat GAY-LÜSSAC
Erkältung des mit Oel bedeckten Wassers auf — 12° C. = 9°, (
gebracht und DALTON[4] hat wahrgenommen, dafs das Was

1 Idées sur la Météorologie II. §. 610.

2 Philos. Trans. Vol. LXXVIII. P. I. p. 125 et 277 übers
Grens. Journ. d. Phys. I. p. 87 u. 393.

3 Schwed. Abhandl. B. XXX.

4 Memoirs of the Society of Manchester. V. p. 374. übers.
G. Ann. XIV. 295.

selbst bei einer Temperatur von — 11° 4 R. noch ungefroren blieb; und da seine Versuche an einem Wasserthermometer angestellt wurden, dessen Scale durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer, bestimmt worden war, so blieb über die wirkliche Temperatur des Wassers kein Zweifel mehr übrig. Daſs zum Gelingen des Versuchs erforderlich sey, möglichst reines, und von Luft befreietes Wasser anzuwenden, ist daraus ersichtlich, weil einerseits im getrübten Wasser die kleinen festen Körper der Wärmeentladung und dem Ansetzen der Krystalle Gelegenheit geben, andrerseits die durch den innern Wärmeumtausch veranlaſste abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der Luftbläschen die Bewegung im Innern und sonst das Entweichen der latenten Wärme aus dem Wasser begünstigen würden. Dieses Letztere wird ebenfalls auch durch das Einsperren der Wärme vermittelst eines über dem Wasser befindlichen schlechten Wärmeleiters, wie Luft oder Oel, oder durch Verhinderung des Wärme-Umtausches an die äuſsere Luft vermittelst Zuschmelzen, endlich, wie bei Dalton's offener Glasröhre, durch die Kleinheit der von der Luft berührten Wasserfläche verhindert.

Daſs *gekochtes Wasser eher gefriere, als ungekochtes*, ist durch zahlreiche Versuche von Mariotte, Perrault, Mairan und Blagden hinreichend widerlegt worden; es findet zwischen beiden hierin kein Unterschied statt.

b. Krystallisation des gefrierenden Wassers.

Parrot [1] nimmt an, die Bildung der kleinsten noch unsichtbaren Eistheile beginne bereits beim Punct der gröſsten Dichtigkeit des Wassers; eine Vermuthung, welche durch die Erfahrung nicht begründet werden kann, und der die Beständigkeit und scharfe Bezeichnung des sichtbaren Gefrierpunctes, so wie das erst bei dieser letztern Temperatur erfolgende Freiwerden der latenten Wärme entgegenzustehen scheinen. Sollten bereits bei jener höhern Temperatur sich Eistheile bilden, so müſste dieses zuerst am Boden des Gefäſses, der Stelle der schwersten Theile, statt finden, da hingegen die ersten und kleinsten Spuren der Eisbildung an der Oberfläche wahrgenommen werden, auch beim Aufthauen alle Spu-

1 Physik. II. p. 65.

ren des Eises verschwinden, sobald die Temperatur des V
sers nur um ein Zehntel Grad über 0° R. sich erhebt. Wie
auch sey, so belehrt uns die Thatsache, dafs erst, wenn
Oberfläche des Wassers auf 0° abgekühlt ist, vom Rande
Gefäfses aus (bei starker Kälte mit sichtbarer Schnelle)
feine Eis-Nadeln herauswachsen, welche meistens schiefe V
kel mit der Kante des Gefäfses bilden. Dafs diese ersten
theilchen vom *Rande* ausgehen, ist nicht nur der dase
durch die Berührung eines festen Körpers bewirkten stärk
Wärmeentziehung, und der bei allen Krystallisationen sich
gebenden Anhängung an einen festen Körper, sondern n
MAIRAN[1] auch der Capillaritäts-Anziehung des Gefäfses zu
schreiben, welche jeden schwimmenden Körper dem Ra
desselben zuführt. Einige dieser Nadeln vergröfsern sich b
in besonderm Mafse, beim Gefrieren einer nicht sehr dün
Wasserschicht meistens in gerader Richtung, zuweilen a
in schönen Schweifungen. Die Zwischenräume dieser unreg
mäfsig sich durchbreuzenden Radien füllen sich allmählig
feinern Nadeln und Büscheln derselben aus; hie und da bild
sich auch isolirte, sternförmige Gestaltungen mit fünf oder se
Strahlen, die einer Federfahne vollkommen ähnlich, und z
weilen am Rande mit einem feinen Saum umzogen sind. W
durch die Menge und Gestalt dieser Strahlen bedingt werd
ist unbekannt. Doch *scheint* eine mäfsige und langsamer w
kende Kälte geradere Nadeln und weniger kühne Schwün
zu liefern, als bei stärkerem Froste und schnellerem Gefrier
der Fall seyn möchte.

Besonders schön und kräftig zeigt sich diese mineralisc
Vegetation bei dünnen Wasserschichten und starkem Froste, w
z. B. beim *Gefrieren der Fensterscheiben.* Diese ergötzlic
Erscheinung ist meines Wissens bisher noch keiner nähern U
tersuchung gewürdigt worden, im Norden wohl deswegen, w
sie zu häufig und alltäglich, im Süden, weil sie zu selten i
MAIRAN spricht davon als von einer Sache, die beim Thauwe
ter sich einstelle und leitet die Blumen-ähnlichen Formen u
die Bogenschwünge theils von Adern im Glase, welche vo
Umrühren der Masse auf der Glashütte entstehen, theils v
der Bewegung der Hand beim Reinigen der Fensterscheiben he

1 pag. 87. der deutsch. Uebersetzung.

Er stellte auch nur zwei Beobachtungen, die eine im Januar 1729; die andere im Januar 1743 darüber an. Bei diesem Mangel näherer Angaben erlaube ich mir daher das Wenige, was einige Wahrnehmungen im Januar 1826 mir zeigten, hier mitzutheilen.

Das Frieren der Fensterscheiben setzt gemeiniglich eine äußere Temperatur von einigen Graden unter dem Gefrierpuncte voraus; nahe so groſs wenigstens muſs die Erkältung der innern Fläche des Fensters seyn. Daher zeigt es sich an den *äuſsern* Fenstern geheitzter Zimmer erst bei einer äuſsern Kälte von etwa — 4 bis — 5° R., weil die Zimmerwärme von etwa + 10° R. der Erkältung von Auſsen entgegenwirkt. Er findet sich mehr an den Fenstern *bewohnter* Zimmer, als in ungeheizten, weil in jenen mehr wässerichte Ausdünstungen entwickelt werden. Der Gang dieser Erscheinung ist folgender: Sobald die Fensterscheibe kalt genug ist, daſs Wasser daran gefrieren kann, setzen sich die *sogleich* gefrierenden Dünste in einem dünnen, überall gleichen, undurchsichtigen, mattglänzenden Ueberzuge an, der aus sehr kleinen, gedrängt beisammenstehenden, mehr oder weniger unausgebildeten Sternfiguren zu bestehen scheint, und nur hier und da durch zufällige Ursachen unterbrochen ist. Die Ränder dieses nebelartigen Gewebes sind unregelmäſsig und fein ausgezackt, ungefähr so wie man in kleinen landschaftlichen Darstellungen die Kante eines Tannenwaldes zu geben pflegt. Oft ziehen sich auf dem unbedeckten Theile der Scheibe einzelne gezackte Linien dieses Reifes fort, deren gerade oder gekrümmte Richtung wirklich den Zügen zu folgen scheint, die auf dem Glasse durch Abwischen oder auf andere Weise vorgezeichnet wurden. Bei fortdaurender Kälte häufen sich die anfrierenden Dünste und bedecken die ganze Scheibe mit einer gleichförmigen undurchsichtigen Haut. Auf dieser bilden sich sodann bei zunehmender Dicke einzelne rhomboedrische Krystallisationen, die verworren durch einander gehen, und nur durch die Verschiedenheit des durchgehenden nnd reflectirten Lichtes bemerkbar werden. Findet sodann durch Sonnenschein oder Zimmerwärme eine kleine unvollkommene Anschmelzung dieser porösen Eishaut statt, so entstehen bei dem schnellen Eintreten des Nachtfrostes jene schönen Blumengebilde, die auch der Ungebildete nicht ohne Vergnügen und Bewunderung betrachtet. In eleganten und kühnen Schwüngen erheben sich

meist von unten herauf (weil das Gefrieren unten als i
kältern Region anfängt, und die durch die Eisbildung selbs
werdende Wärme in die Höhe steigt) dichte Büschel und s
gebogene Zweige, und breiten sich mannigfach verschlu
über die ganze Tafel aus; der matte Hintergrund der e
Reifdecken des Glases giebt diesen Blumen einen schiller
Wechselglanz, auf welchem die feinen Lineamente der gedr
ten Curven sichtbar werden. Bald sind es kleine blätterför
Büsche, Verzierungen und Schnörkel aus gedrängten Fasern
stehend, wie Federn eines Helmbusches, bald kräftige mit n
nigfachen Seitenzweigen versehene elegant gewundene Stän
zuweilen bis auf 12 und 14 Zoll Länge in aufrechter Richt
bald ein Gewirre mit zarten Haaren besetzter, durch eina
verschlungener Stränge; alles in gesetzloser doch sch
Verwirrung.

Um die Natur in ihrer Malerei zu belauschen, behauchte
bei einer äufsern Kälte von 7° R. eine mit dickem Reif bede
Fensterscheibe so lange, bis die Eiskruste wegschmolz, und
der Glasfläche nur eine dünne Wasserhaut hängen blieb, di
zart war, dafs die Scheibe zumal an den obern Stellen d
Auge ganz trocken schien. Nach etwa 5 Minuten zeigten s
zu beiden Seiten, und bald darauf auch unten kleine ger
und gekrümmte Spitzen, die von dem noch stehen gebliebe
Eisrande aus in verschiedenen Richtungen ausgingen. Ein
derselben schoben sich mit besonderer Schnelligkeit vor, u
trieben nach beiden Seiten schön geschweifte Büsche, die b
darauf an Gröfse und Ausbreitung noch zunahmen. Es war u
gemein ergötzend, das Entstehen und Wachsen jener buschig
Zweige mit dem Auge zu verfolgen; sie hatten ursprüngli
ganz das Ansehen der wohlgeformten Fahne einer Schreibfed
diese vorne scharf zugespitzte Fahne war anfänglich etwa $\frac{1}{2}$ Li
breit, mit den zärtesten Seitenfasern versehen; letztere trat
in vollständiger Anzahl ganz im nämlichen Momente aus ihre
Stamm heraus, so wie die Spitze sich vorwärts schob, w
mit einer sichtbaren Geschwindigkeit von etwa $\frac{1}{4}$ Lin. in d
Secunde statt fand. Das von den heraustretenden Spitzen sich
bar verdrängte Wasser umflofs dann in weicher Rundung d
neuen Gewächse, so dafs nirgend etwas Scharfes, Eckigtes si
bilden konnte. Es war unmöglich, das immer rege Spiel ein

so kräftigen Vegetation auf allen Seiten zu verfolgen; manches Bemerkenswerthe mufste übersehen werden.

Die Figuren waren übrigens ganz klar und durchsichtig, weil ihnen der duftige Hintergrund der gewöhnlichen Eisfiguren fehlte. Doch waren sie, wenn ein dunkler Grund nicht allzunahe dahinter lag, durch die verschiedene Brechung des Lichtes vollkommen zu erkennen. Nach einigen Tagen fingen sie an, durch den Ansatz neuer Dünste ihre Schärfe zu verlieren, und die Scheibe wurde undurchsichtiger. Um den Versuch abzuändern, gofs ich eiskaltes Wasser auf eine geschliffene Glastafel, und liefs es bis auf eine dünne Lage ablaufen; es entstanden alsobald auf derselben, und zwar in *horizontaler* Lage der Tafel, die nämlichen schönen Gebilde, in mannigfach wechselnden Formen, unter den nämlichen Anfängen und Fortschritten. Ein grofses gewölbtes Uhrglas auf der convexen Seite mit Wasser begossen, bot die gleichen Erscheinungen dar. Jede neue Begiefsung, so wie jede neue Schmelzung des Eises an der Fensterscheibe lieferte ganz neue und veränderte Figuren; so dafs diese nicht, wie Mairan glaubte, gewissen Spuren und Faden auf dem Glase zugeschrieben werden können.

Ich hatte die Glastafel mit den Figuren in nahe verticaler Stellung zwischen die Doppelfenster meines Zimmers gesetzt, und später nicht mehr betrachtet. Inzwischen war die feine durchsichtige Eiskruste auf derselben, die, weil auf der Rückseite des Glases keine Erkältung statt fand, nicht durch abgesetzte Dünste sich vermehren konnte, allmählig verdunstet, und die Tafel vollkommen trocken. Zu meiner Verwunderung fand ich noch die Lineamente der frühern Eisgebilde in blafsgrauer Farbe, wenn auch nicht scharf und deutlich, doch ziemlich vollständig vorhanden; es war, wie ich auch durchs Mikroskop bei zwanzigmaliger Vergröfserung bestätigt fand, ein feiner Staub, der sich durch die innern Fenster hindurchgezogen, und auf die Faden der Figuren angesetzt hatte. Warum diese Absetzung nur auf den dünnen Zeichnungslinien und nicht auf der ganzen Oberfläche gleichförmig statt gefunden hatte, konnte ich nicht ausfindig machen. War es eine von den kleinen elektrischen Wirkungen, die der Natur so wenig zu kosten scheinen, oder hatte der Anflug des Staubes erst dann statt gefunden, als die aus dünnerem Eise bestehenden Zwischenräume der Lineamente bereits durch Verdunstung aufgetrocknet waren, das

konnte ich wegen Mangel gehöriger Aufmerksamkeit n entscheiden. Bei der Bildung der Eisfiguren versuchte ic einmal, einen Magnetstab unter die ¼ Lin. dicke Glastafel zu le allein ohne merkbaren Einfluſs auf die sich bildenden Gesta

Wenn, wie die eben erwähnten Erscheinungen uns ze bei schnellem Gefrieren dünner Wasserschichten die krum nigte Fortpflanzung der Eistheile vorherrschend ist, und h stens in der Richtung der Seitenfassern jener Federbüsche Tendenz zur Gleichförmigkeit, namentlich die Anreihung u dem Winkel von 60° bemerkbar wird, so tritt dagegen, bei allen Krystallisationen, der eigentliche Typus der Eis desto bestimmter hervor, wenn die Operation mit möglich Langsamkeit und Ruhe vor sich gehen kann. Wir finden in aller Vollkommenheit ausgedrückt in den sternförmigen F ken, die zuweilen bei starkem Froste aus der unbewöll Luft einzeln herunter fallen. Im Schnee selbst sind d Flocken zu gedrängt, und die Raschheit, mit welcher b Schneefall die Dunstbläschen einer ganzen Wolke nicht du gewöhnliche, sondern durch auſserordentliche, meistens Elektricität begleitete Erkältung zum Gefrieren gebracht werd ist der Regelmäſsigkeit ihrer Krystallisirung entgegen. schönste und vollständigste Sammlung solcher gefrorener Du figuren hat uns Scoresby [1] geliefert. In allen drückt sich u verkennbar die Form des *regelmäſsigen Sechseckes* als Grun form aus; es sind wahre Bilder aus dem Kaleidoskop. Au beim Gefrieren der Wasserflächen folgt die Richtung der E nadeln gegen die Wand des Gefäſses meistens einem Win von 60°, oder 120° oft auch von 30°, und die in der Mitte s bildenden einzelnen Sterne sind in der Regel sechsstrah Hauy [2] glaubte hieraus folgern zu dürfen, „daſs die Molecu des Eises reguläre Tetraeder seyen, die, wie beim Fluſsspa durch Zusammensetzung Oktaeder bildeten.

Im Jahr 1805 fand Héricart de Thury [3] im der Eishöl zu Fondeurle im Dauphiné ungeheure Stalaktisten aus Eis,

---

1 In s. account on the Arctic regions; und im Auszuge in d Ann. de Chim. XVIII. p. 38. desgleichen in W. Scoresby's Ta buch einer Reise auf den Wallfischfang u. s. w. übers. von F. Kri Hamb. 1825. Vergl. den Art. *Schnee*

2 Traité de Physique I, p. 249.

3 Ann. de Chim. XXI. 156. und Journ. des Mines XXXIII.

ihrem Innern hohl, und mit vollkommen krystallisirten Eisnadeln besetzt; es waren sechseckige und dreieckige Prismen bis auf 2 Linien Durchmesser; bei einigen waren die Endkanten an der Basis des Prisma durch Facetten ergänzt; doch fand sich nirgend eine ausgebildete Pyramide. Auch der Boden der Höhle war mit einer Eisdecke überzogen, in welcher man sechseckige Prismen unterscheiden konnte. Seither hat Dr. Clarke [1] (am 3. Januar 1821) bei einer Kälte von ½ Grad unter Null, unter einer hölzernen Brücke in Cambridge Eiszapfen entdeckt, deren Oberfläche anstatt der gewöhnlichen wellenartigen konischen Formen, bestimmte Vorsprünge mit scharfen Kanten und herausragenden Wirbeln darbot. Es waren vollkommene rhomboidische Krystalle, mit Winkeln von 120 und 60 Grad; wie man sich durch Messung am Goniometer überzeugte, die bei Krystallen von dieser Gröſse (bis auf 1 Zoll Seite) keine Schwierigkeit darbot. Die Krystalle behielten, als einige Tage darauf, bei einer Temperatur + 3° R. Thauwetter eintrat, auch beim Schmelzen stets ihre rhomboidische Gestalt, ein Beweis, daſs die Anordnung der Theile durch die ganze Masse die nämliche war; mithin ist, nach Dr. Clarke's Meinung, die *Primitivform des Eiskrystalls ein Rhomboid von* 60 *und* 120 *Graden*, und jene sechsseitigen Krystalle von Fondeurle waren nur Secundärformen. Auch nach Clarke's Urtheil kann man nur bei einer *mäſsigen* Kälte, die wenig vom Gefrierpunct sich entfernt, regelmäſsige Krystalle erwarten [2].

c. Blasen im Eise.

Wenn das Wasser mit unzerschmolzenem Schnee, oder mit Unreinigkeiten gemischt ist, so wird das Eis blasig und undurchsichtig, und von weiſsgrauer Farbe. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich in der Menge von Luft, welche theils im Wasser selbst, theils im Schnee sich aufhielt, und jenen fremdartigen Körpern anhing. Allein auch reines und klares Wasser wird zuweilen mit kleinern oder gröſsern Blasen erfüllt. Dieses ist namentlich der Fall, wenn das Gefrieren sehr schnell vor

1 Ann. de Chim. XXI. 156.

2 Ueber die Gestaltung des bei Thauwetter benetzten Schnees auf den Eisfeldern im Meere, in gefrornen, Prismen, Pyramiden und Polyedern sehe man Scoresbys Bemerkung in s. Journ. of a Voyage to the Northern Whalfishery 1823. 8. deutsch v. Friedr. Kries. 1825. pag. 260.

sich geht. Dann zumal wird die Wassermasse, noch ehe durchgängig eine gleiche Erkältung angenommen hat, an i Aufsenfläche mit einer undurchdringlichen Eiswand umschlo welche der im Wasser befindlichen Luft den Ausgang versp diese nimmt dann beim Erstarren der umgebenden Wassertl die daraus freiwerdende Wärme auf, wird dadurch ausgede und bildet Blasen, die ihr ursprüngliches Volumen weit ü treffen. Eben deswegen ist Eis, das bei starker Kälte sich dete, in den obern Schichten, wo die Wärme noch entwei konnte, durchsichtiger als unterhalb.

Die Luft ist jedoch nicht die einzige Ursache der Bl im Eise; sie entstehen auch zuweilen in Wasser, das d Kochen oder Auspumpen seiner Luft beraubt worden ist. Li tenberg[1] liefs Wasser, das er durch Kochen und Auspum von Luft möglichst befreit hatte, im Vacuo gefrieren, und f das Wasser, wie in gefrornen Schaum verwandelt voll gro Blasen, Eben das wiederfuhr Parrot[2] welcher ausgekoc Wasser in einer wohlverschlossenen Flasche zu gleicher Zeit einer auf gleiche Weise verwahrten Quantität Wasser gefri liefs, das mit Kohlensäure stark imprägnirt war. Beide Flasc enthielten eine undurchsichtige blasige Eismasse. Dagegen Muncke[3] in zahlreichen Versuchen aus gewöhnlichem Schn wasser immer ein blasiges, aus gekochtem hingegen immer meist blafsenfreies, sehr durchsichtiges Eis erhalten. Das W dersprechende dieser Angaben hat ohne Zweifel seinen Gr in der Verschiedenheit der Temperaturen, in welchen d Versuche angestellt wurden. Muncke giebt hierüber nichts aber Lichtenberg sagt ausdrücklich, dafs er seinen Vers bei *grofser Kälte* gemacht habe, und Parrot bezeichnet — 18 als die Temperatur bei seinen Versuchen. Wahrscheinlich v bei der Beseitigung des äufsern Luftdruckes der Einflufs, ein frühzeitiges Erstarren der Oberfläche auf die Bildung übrigen Eismasse hatte, noch verstärkt, indem jene 60 Gr frei werdender Wärme im luftleeren Raume, wo das Wa schon bei + 30° R. siedet, leicht Dämpfe erzeugen könn welche elastisch genug sind, um die sie umgebenden Eisth auseinander zu halten.

1 Erxleben Naturl. §. 426. Zusatz.
2 Physik. II. 66.
3 Ueber d. Schiefspulver. p. 97.

d. Specifisches Gewicht des Eises.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser; auch Grundeis erhebt sich an die Oberfläche, sobald es vom Boden sich losgemacht hat. Es ist also *specifisch leichter* als Wasser; allein sein Gewicht ist nach der Menge der darin enthaltenen sichtbaren oder auch unmerklichen Blasen sehr verschieden. Kraft [1] liefs Wasser in Glasröhren gefrieren, und fand die Ausdehnung des Eises wie 905: 1000, also specifisches Gewicht = 0,905; oder 10: 11. Irvine [2] wog möglichst festes und reines Eis in Schneewasser von + 0°, 9 R. Wärme; es senkte sich um $\frac{15}{16}$ ein; was 0,937 specifisches Gewicht giebt; eben dasselbe fand auch Scoresby [3], beide vermuthlich mit schwimmendem Polar-Eis. Nach Williams [4] Versuchen war die Ausdehnung $\frac{1}{17}$; also specifisches Gewicht = 0,945. Thomson verdünnte Alkohol so lange, bis das eingetauchte Eis in dem Gemische in jeder Stelle stehen blieb, ohne zu steigen oder zu sinken; das specifische Gewicht der Flüssigkeit war dasjenige des Eises; es ergab sich = 0,92, das Wasser bei 12°,44 R. = 1 gesetzt [5]. Placidus Heinrich [6] bestimmt dasselbe zu $\frac{76}{84}$ = 0,905. Vermuthlich ist das von Irvine und Scoresby untersuchte Meereis der wirklichen Dichtigkeit dieses Stoffes am nächsten, und die niedrigern Angaben anderer Naturforscher rühren von der gröfsern oder geringern Porosität der gebrauchten Stücke her: daher man wohl das eigentliche specifische Gewicht des Eises auf 0,95 setzen darf. — Die Eigenthümlichkeit, beim Uebergange in den festen Zustand sich auszudehnen, hat das Wasser noch mit den meisten Salzen, wenigstens mit denen von prismatischer Krystallisationsform [7] und nach Réaumur [8] auch mit dem Gufseisen, dem Wismuth und Antimon gemein.

Bemerkenswerth ist auch die Erfahrung von Pl. Heinrich [9] über die fortgehende *Zusammenziehung des Eises bei zunehmen-*

---

1 Comm. Petrop. XIV. 222.
2 Phips Voy. to the Northpole. p. 144.
3 Mem. of the Wern. Soc. of Edinb. II. 1.
4 Gothaisches Mag. VIII. 176.
5 Chimie II. 161. Franz. Uebers.
6 G. Ann. XXVI. p. 229.
7 Vauquelin. Ann. d. Chim. XIV. 286.
8 Mém. d l'Acad. 1726 Berthollet Statique Chim. II. 348.
9 G. Ann. XXVI. 228.

der Kälte. Seinen Versuchen zufolge zieht sich ein Eiscylinde 0,0003064 seiner Länge zusammen, wenn die Temperatur ihn umgebenden Mittels um 10° R. abnimmt [1]. Hieraus l sich denn auch Mairan's Beobachtung, zufolge welcher Stück Eis, nachdem es 8 Tage lang dem Frost ausgesetzt wesen, sein specifisches Gewicht um 0,013 vermindert h aus der bloſsen Abnahme der Kälte erklären, ohne daſs mar einer fortgehenden Ausdehnung desselben durch die Fortd der Kälte seine Zuflucht nehmen müſste. Vielleicht hatte auch durch Ansetzen von Feuchtigkeit neues poroseres Eis der Masse gebildet, und so das specifische Gewicht des Gan verändert.

e. Ausdehnung des Eises bei seinem Entsehen.

Die Kraft, mit welcher das Wasser beim Gefrieren se Raumvergröſserung bewirkt, ist so bedeutend, daſs sie c stärksten Expansivkräften, die wir kennen, z. B. der Gew der Wasserdämpfe und der des Schieſspulvers zur Seite gese werden kann. Schon Huygens überzeugte sich davon, als im Jahre 1667 Wasser in einem eisernen Rohre verschlosse gefrieren lieſs, und dieses nach 12 Stunden an zwei Stellen g borsten fand; ein Versuch, der drei Jahre später von Büot mit gleichem Erfolg wiederholt wurde. Noch vollständige Versuche wurden von der *florentinischen Akademie* ang stellt [3]. Sie lieſs mehrere starke Gefäſse und Kugeln aus Gl und verschiedenen Metallen mit Wasser gefüllt der Kälte au setzen, die alle zersprangen; unter diesen befanden sich ei messingene Kugel von 2,9 Z. äuſserm u. 1,3 Z. innerm Durchme ser. Musschenbroeck berechnet die dazu nöthige Kraft a 27720 Pfunde; und dieses gäbe nach Parrot [4] 21800 Pf. a einen sphärischen Kubikzoll Eis.

Im Jahre 1785 zersprengte Williams in Quebek [5] ei Bombe von 12½ Z. Durchmesser und 1½ bis 2 Zoll Metallstärk

1 Vom Eise p. 211. deutsche Uebers. ohne thermometrische Angab

2 Hist. de l'acad. 1670.

3 Tentam. experimentorum in Acad. del Cimento captorum: Edi P. van Musschenbroek. Lugd. Bat. 1731 4.

4 Physik. II. 59.

5 Trans. of the Roy. Soc. of Edinb. II. und im Gothaischen Ma VIII. 176.

Eine ganze Scheibe von Eis war durch den Riſs hervorgedrungen. Bei — 17° R. wurde ein 2¼ Pf. schwerer eingetriebener Stöpsel 62 Fuſs weit geschleudert, und es drang augenblicklich ein 4 Zoll langer Eiscylinder heraus; und bei — 23° R. Kälte und unter einer Richtung von 45° flog der Stöpsel sogar 415 Fuſs weit. Wahl zu Michelstädt im Odenwalde[1] bediente sich des Eises, um alte Bomben zu zersprengen. Unter andern wurde bei —17° R. eine mit Wasser gefüllte Bombe von Guſseisen von 18¼ Par. Z. Durchmesser und 2¼ Zoll Metalldicke so vollständig zersprengt, daſs Stücke von 150 Pf. 10 Schritte weit geschleudert wurden. Muncke[2] berechnet die dazu erforderliche Kraft auf 2648000 Pfunde. Aehnliche Beispiele von ungeheurer Kraftäuſserung liefert das Zersprengen der Felsen und starker Bäume durch die Ausdehnung der in ihrem Innern gefrierenden Flüssigkeit, da sie bei noch gröſserer Kälte in unbestimmbarem Maſse wachsen muſs.

Mehrere der ältern Naturforscher, und mit diesen auch neuerlich der scharfsinnige Parrot[3] leiten diese Wirkung von der Expansivkraft der im Wasser befindlichen Luft her; und der Letztere schreibt derselben die nämliche Dichtigkeit wie dem Wasser selbst zu, da dieses auch nach dem Auspumpen der Luft das gleiche specifische Gewicht behält. „Die beim Gefrieren frei werdende Wärme muſs daher (nach Parrot) jener Luft eine Expansivkraft mittheilen, welche dem 800 fachen Druck der Atmosphäre gleich ist, was auf die Oberfläche eines sphärischen Zolls eine Kraft von 35168 Pf. ausmachte.“ Allein dieser Voraussetzung steht einerseits die bestimmte Erfahrung entgegen, daſs Gefäſse mit ausgekochtem Wasser, vom dichtem blasenfreien Eise eben so gut und (nach Muncke[4]) *weit eher* zersprengt werden, als solche, in welchen das Wasser nicht ausgekocht wurde, und die Annahme als sey durch „das Auskochen nicht alle Luft ausgetrieben worden, und die zurückgebliebene entwickele sich beim abermaligen Kochen im Moment des Frierens mit eben der Expansivkraft, wie im ungekochten Zustande,“ möchte wohl schwerlich nachzuweisen seyn. Andererseits ist es gar nicht nöthig anzunehmen, daſs die dem

1 Trans. of the Roy. Soc. of Ed. II. u. im Goth. Mag. VIII. 74.
2 Ueber das Schieſspulver S. 96.
3 Physik II. 67.
4 Ueber das Schieſspulver. S. 97.

Wasser inhärirende Luft das specifische Gewicht desselben v mindern könne; dieses wäre nur dann der Fall, wenn die W sermasse einen *geschlossenen* Körper bildete, in welchem Luft eingesperrt wäre. Da diese aber, wie auch die Leicht keit ihres Entweichens zeigt, durch die Poren des Fluidu mit der *Atmosphäre in freier Verbindung* steht, so kann auf das Aräometer nicht einwirken. Dieses wird auch du das von Henry gefundene Gesetz[1], daſs auch „bei verändert äuſserm Drucke die Volumina der absorbirten Gasarten sich i mer gleich bleiben, mithin das Gas im Wasser die nämliche Di tigkeit, wie das äuſsere habe, vollkommen bestätigt[2]. En lich können wir schwerlich dem Wasser eine so groſse A ziehungskraft auf die Luft zuschreiben, die dem Druck von 7 Atmosphären gleich käme. Mithin fällt die Basis dieser Erkl rungsart, die 800fache Verdichtung der im Wasser befindlich Luft, unsers Erachtens weg, und wir sind genöthigt, eine ande Ursache jener auſserordentlicher Ausdehnungskraft zu suche

Diese bietet uns jener oben erwähnte Typus der Zusamme fügung der Eistheile, die *Krystallisation* dar, die wir sowo beim Gefrieren in palpabler Gröſse, als auch (z. B. in den fe nen Schneefiguren) bis in die kleinsten Nachbildungen verfol finden. So fein wir auch diese Theile annehmen, so werd sich immer eckige Zwischenräume ergeben, die nicht mit Ei substanz erfüllt sind; und wenn wir auch für einmal nicht ve mögend sind, eine auf glaubwürdigen Calcul gegründete The rie dieser Conglomeration aufzustellen, so liegen doch die be den Thatsachen, die *Krystallisation*, und die *Raumvergröſs rung* einander so nahe, daſs es inconsequent scheint, ihnen eir ursächliche Verbindung abzusprechen. Schon frühere Natu forscher Kepler, Descartes[3] und nach ihnen Bartholin

1 Th. I. dies. Wörterb. Art. *Absorption*; S. 48.

2 Ebenso durch die Wahrnehmung, daſs Fische im Wasser (a Mangel an Sauerstoffgas) bald sterben, das mit einer Oelschicht b deckt ist. Versenkt man einen Fisch in gefrornes Wasser, das *unt Oel* aufgethaut ist, so stibt er *augenblicklich*; ein Beweis, daſs di Blasen im Eise keine *Luftblasen* sind. Auch nach Humboldt un Gay Lussac giebt geschmolzenes Eis nur halb so viel Luft her, a gewöhnliches Wasser. S. Cardarori im Journ. de Phys. T. LXII. S 473 und G. Ann. XXVIII. S. 414. Ferner G. Ann. XX. S. 135.

3 De meteoris.

4 De nivis usu medico.

suchten die sechsstrahligen Eisfiguren aus der Anordnung von sechs Kugeln herzuleiten, welche um eine siebente herumliegen, so dafs sie je drei einander berühren. In neuerer Zeit hat DALTON [1] die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren durch eine Veränderung der Aggregation seiner Theile zu erklären gesucht und seine Hypothese durch eine Berechnung unterstützt, deren Ergebnifs von der Erfahrung nicht viel abweicht. Er geht von der Voraussetzung aus, dafs die kleinsten Theile des Wassers Kugelgestalt haben, und dafs diese Kügelchen dergestalt auf einander gelegt seyen, dafs die zweite horizontale Schicht in die Zwischenräume der erstern gelagert sey, mithin jedes Kügelchen auf vier Puncten ruhe, welche um 45° über den Mittelpunct der Kügelchen der ersten Schichte erhaben sind [2]. Fig. 15. u. 16. Nennt man die Zahl der Kügelchen, welche in einem cubischen Gefäfse in einer lineären Reihe sich befinden $= n$, so bezeichnet n^2 die Menge der Kügelchen in einer Horizontalschicht; und da die Linie A C, welche die Centra zweier sich berührender Kugeln in verchiedenen Stratis verbindet, mit der Horizontal-Ebene einen Winkel von 45° macht, so wird die Anzahl der Lagen in der gegebenen Höhe des Cubus

$= \frac{n}{\text{Sin. } 45} = \frac{n}{\frac{1}{2}\sqrt{2}}$ seyn. Hieraus findet sich die Zahl der

Theilchen, in dem cubischen Gefäfse $= \frac{n^3}{\frac{1}{2}\sqrt{2}} = n^3 \sqrt{2}$.

Man denke sich nun, dafs die viereckige Säule, deren Basis ein Quadrat ist, plötzlich zu einem rhomboidalen Körper Fig. 17 u. 18. ausgezogen werde. Jedes Theilchen der oberen Lage ruht dann auf drei andern der untern Lage, und die Richtung der Mittelpuncte A C ist $= 60°$; mithin die Erhöhung $= \frac{n}{\text{Sin. } 60} =$

$\frac{n}{\sqrt{\frac{3}{4}}} = \frac{2\,n}{\sqrt{3}}$. Die Grundflächen der beiden Säulen verhalten sich nun wie 1 zu $\sqrt{\frac{3}{4}}$; ihre Höhen CD wie $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ zu $\frac{1}{2}\sqrt{3}$; ihr körperlicher Inhalt aber wie die Producte der Grundflächen in die Höhen oder wie $\frac{1}{2}\sqrt{2} : \frac{3}{4}$; d. h. 0,7071 ... zu 0,750 oder wie 0,943 zu 1, ein Werth, der von demjenigen des fe-

[1] Chemical philosophy. T. I. p. 155. (d. deutschen Uebers.).

[2] Von den Figuren zeigen die 15. und 17. einen Grundrifs, die 16. und 18. dagegen eine Profilverbindung.

sten Eises nach IRVINE und SCORESBY (0,937) nicht merkli abweicht.

So sinnreich diese Erklärung, und so übereinstimmend r der Erfahrung sie ist, so beruht sie dennoch auf Voraussetzu gen, die nur die Möglichkeit für sich haben und nirgends der Beobachtung nachgewiesen werden können; und sie dür uns noch nicht berechtigen, andere Hypothesen, z. B. diej nige WINKLER's [1], noch welcher die Volumsveränderung v einer Zerlegung in kleinere Kügelchen oder polyedrische Kö per herrühren sollte, von diesen Speculationen auszuschliefsen Wie dem auch sey, diese Ausdehnung und die unwiderstehl che Kraft, mit der sie sich bildet, ist Thatsache, und sie schei eben deswegen beim Wasser die eigentliche Bedingung d Ueberganges in den festen Zustand zu seyn, so wie hingeg bei andern Stoffen z. B. dem Quecksilber, eine bedeutende Zu sammenziehung damit unzertrennlich verbunden ist, und WIL LIAMS mochte wohl Recht haben zu behaupten, dafs Wass nicht gefrieren könne, so lange seine Ausdehnung durch äufse Gewalt verhindert werde.

Die Wirkungen dieser Ausdehnung zeigen sich in den E scheinungen des gewöhnlichen Lebens auf mannigfache Ar Der Frost hebt Schwellen und Steinpflaster in die Höhe, ze sprengt oft mit heftigem Knalle Steine und Bäume, Mauern, Wa serleitungen, und dergleichen; er zerstört durch diese Ausdeh nung die Gefäfse der Pflanzen; daher ältere Bäume, deren Zell gewebe weniger elastisch ist, mehr vom Frost leiden, als di jüngern. Er wirkt dagegen wohlthätig zur Auflockerung de Bodens, und ist die wesentlichste Ursache der Verwitterung de Felsgebirge, wie das namentlich die zahlreichen und mächti gen Trümmer, mit welchen die Gletscherthäler erfüllt sind beweisen.

---

1 De causa frigoris et glaciei. 1737. 4.

2 Durch einen Vorgang dieser Art dürfte vielleicht beim Härte des Stahls die Feinheit des Kornes oder die Gröfse der Molecülen be stimmt werden. Denn da bei einem Conglomerat von kugelförmige oder polyedrischen Körpern die Summe ihrer Zwischenräume dest gröfser wird, je kleiner diese Körper werden, so mufs, da die Aufsen wände des Stahls beim Härten in einem expandirten Zustande erstarren die Masse sich in kleinere Theile zerstreuen, wenn die Form ihre Aggregation und die Zahl und Lage der Berührungspuncte sich gleicl bleiben soll.

f. Freiwerden von Wärme bei der Eisbildung.

Eben so wie die Ausdehnung scheint auch die Ausscheidung eines bestimmten Quantums von Wärme mit zu den Bedingungen des Ueberganges in den festen Zustand beim Wasser zu gehören. Die oben erwähnten Versuche über die Erkältung des flüssigen Wassers unter den Eispunct geben diese plötzliche Wärmeentwicklung zu erkennen, indem im Momente des Erstarrens das Thermometer schnell auf den Nullpunct stieg. Genauer jedoch wurde sie durch den umgekehrten Procefs bestimmt, in welchem man das Quantum Wärme abmafs, das zur Liquescirung eines bestimmten Quantums festen Wassers erforderlich war. Der Versuch ist folgender[1]: Mischt man gleiche Theile Schnee von 0° R., und Wasser von + 60° R., mit einander, so wird der Schnee geschmolzen, und das Gemisch erhält die Temperatur vom 0° R. Die 60° R. Wärme des Wassers wurden also einzig darauf verwendet, den Schnee aus dem krystallisirten Zustande in denjenigen des liquiden Wassers hinüberzubringen. Ist die Temperatur des Wassers geringer als 60° R., so erfolgt die Schmelzung nicht vollständig; ist sie höher, so wird die Wärme des Gemisches über 0° R. Mischt man umgekehrt 1 Pfund Schnee von — 10° R. mit $\frac{1}{6}$ Pf. Wasser von 0° R. so gefriert die ganze Masse und erhält die Temperatur 0°. Eine sechsfache Masse von Schnee zu — 10° ist aber gleich einer einfachen Masse von — 60°; also erzeugen gleiche Gewichtstheile Schnee von — 60° und Wasser von 0° keine Erkältung, weil das flüssige Wasser beim Festwerden + 60° R. Wärme hergiebt, welche sich mit jenen — 60° R. des Schnees neutralisiren. Die Schwierigkeit, ein solches Gemisch von allem Einflufs der äufsern Temperatur frei zu halten, hat in die Angaben hierüber einige Verschiedenheit gebracht. Wilke setzt diese dem Wasser als Bedingung des flüssigen Zustandes inhärirende Wärme auf 58° R., Black auf 62 $\frac{2}{9}$ und Lavoisier auf 60° R., oder zwei Drittheile des Intervalls vom Eis- bis zum Siedepuncte des Wassers.

Als einen directen Beweis der beim Gefrieren des Wassers frei werdenden Wärme führen wir die Versuche von De la Rive in Genf an, welcher im J. 1820 2 Theile Wasser mit

1 Parrot. Phys. II. 62.

1 Theil Oel bedeckt, einer Kälte von — 9° R. aussetzte. Oel blieb flüssig, so lange das Wasser nicht gefroren war, gerann erst 3 Stunden nachher, während dem anderes dan stehendes Oel schon in den ersten Minuten des Versuches ge ren war. Als man bei einem andern Versuche das Thermo ter ins Oel setzte, zeigte es — 0°,6 R., als das Wasser zu frieren begann; und erst nachdem alles Wasser *dem Ansc nach* gefroren war, fiel es auf — 4° R. *wobei das Oel den flüssig blieb.* Endlich gefror auch dieses, und nun ging Thermometer auf — 9° R. herab, welches die Temperatur ungebenden Luft war. Als man die Flasche mit 2 The Wasser und 1 Theil darüber gegossenem Oele einer Temp tur von + 0°,6 R. aussetzte, gefror das Oel alsobald, w rend dem das Wasser flüssig blieb. Es *thaute aber* um $\frac{1}{10}$ ner Dicke an der die Luft berührenden Fläche *wieder auf*, man dasselbe nachher einer Kälte von — 8° R. aussetzte, w che das Wasser zum Gefrieren brachte, und wurde erst spä nachdem alles Wasser gefroren war, wieder fest[1].

g. Festigkeit des Eises.

Mairan[2] liefs Wasser in einer 4 Linien weiten Röhre frieren; den herausgenommenen Cylinder legte er auf zwei U terlagen, die 6 Z. weit von einander standen. Dieser trug k vor dem Zerbrechen 1 Pf., 1 Unze und 2 Quentchen. Die R sultate waren jedoch je nach der Porosität des Eises und der lä gern oder kürzern Zeit, da es an der Luft gelegen hatte, ve schieden. Im Winter von 1740 wiederholte Mairan dies Versuch mit einem Cylinder von 1 Z. Durchmesser, der

1 Eine auffallende Erfahrung über die Wärme, welche bei d Krystallisation auch anderer Stoffe frei wird, berichtet Dr. Benj. Sch (in s. Physik. Wien 1816. 8. S. 254). Er hatte eine bis zum Krystal sationspuncte abgedampfte Lauge von salzsauerm Kalk, im Winter v Fenster zum Krystallisiren hingesetzt. Da nach einiger Zeit die nicht vor sich gehen wollte, nahm er die Schale herein, um die Fl sigkeit weiter abzudampfen. Durch diese Erschütterung fing die gan Lauge augenblicklich zu krystallisiren an, die Schale wurde aber au schnell so heifs, dafs es kaum möglich war, sie noch bis zum näc sten Tisch hinzutragen. Dabei fing die Lauge sich heftig zu beweg und zu wallen an, als ob sie im heftigsten Sieden begriffen wäre. Au Glaubersalzsolution, welche im Vacuo erkaltet ist, und durch den Z tritt der Luft krystallisirt, entbindet hierbei Wärme. Vgl. *Krystallisatio*

2 Vom Eise. S. 215.

Stunden einer Kälte von — 9° R. ausgesetzt gewesen war. Bei dem nämlichen Abstande der Unterstützungspuncte trug es 10¼ Pf. und zerbrach von 11 Pfunden. Ein vergleichender Versuch, den Muraz mit einem Prisma aus weißsem Marmor, dessen Querschnitt ein Quadratzoll betrug, und das bei 10 Zoll Abstand der Unterlagen 84 Pf. (zu 8 Unzen) gerade vor dem Zerbrechen trug giebt, wenn man die Tragkraft des quadratischen Prisma mit 11/14 auf diejenige des Cylinders von 1 Zoll Durchmesser reducirt[1], und den Eiscylinder auf 10 Z. Länge setzt, die zum Zerbrechen des Marmors und des Eises erforderlichen Gewichte = 61,8 und 6,3 Pf. mithin die Festigkeit des Eises 10mal geringer, als die des Marmors. Die auffallendste Probe von der Festigkeit des dichten Eises lieferte die berühmte Construction, die im Winter 1740 zu St. Petersburg unter der Regierung der Kaiserin Anna aus behauenen, 2 bis 3 Fuſs dicken, Blöcken des Newaeises aufgeführt wurde. Es war eine Art Pallast von 52½ Fuſs Länge, 16½ Fuſs Breite 20 Fuſs Höhe, mit einer Bedachung aus Eis. Vor demselben standen 6 Kanonen, die auf der Drehbank gebohrt und gedreht worden waren, mit Rädern und Laffetten, nebst zwei Mörsern nach den üblichen Proportionen verfertigt, alles von Eis. Die Kanonen waren Sechspfünder, die 3 Pf. Pulver gebrauchen; sie wurden jedoch nur mit ¼ Pf. geladen, und Kugeln aus Werch, ja selbst eiserne daraus geschossen. Eine solche Kugel durchschlug ein 2 Zoll dickes Brett in der Entfernung von 60 Schritten.

Im J. 1795 lieſs Weber[2] in Landshut aus groſsen Eisstücken der Donau Kanonen und Mörser drehen. Sie wurden mit Kugeln von Eis geladen, und das Pulver durch die Zündröhre angezündet. Ungeachtet der erfolgten gewaltigen Explosion litt das Eis nicht im Geringsten. In den Mörser paſste eine Eiskugel, die 36 Loth schwer war; sie wurde senkrecht in die Luft geschossen, flog zu einer auſserordentlichen Höhe, und es vergingen beinahe zwei Minuten, bis sie wieder auf die Erde fiel. Auch beim Thauwetter gelang der Versuch vollkommen; nur muſste man den Mörser mit Löschpapier austrocknen.

Wenn das Eis schon an sich so starke Cohäsion zeigt, so wird seine Festigkeit noch sehr vermehrt, wenn es über einer

---

1 Eytelwein Statik II. S. 318.

2 G. Ann. XI. 353.

ausgedehnten Wasserfläche gelagert ist. Der Widerstand, den Wasser jeder örtlichen Zusammendrückung entgegensetzt, sch die Eisrinde gegen eine Einbiegung, welche die Trennung se Theile zur Folge haben könnte, und vertheilt die Last auf meh Stellen. Frisches, auf klaren Gewässern schnell gebildetes Eis z eine merkliche Elasticität und Zähigkeit. Die Dicke von ei Zoll und weniger reicht hin, um einen Mann zu tragen, in der Druck auf eine Fläche sich vertheilt, die den Raum, seine Füſse einnehmen, weit übertrifft; dagegen darf er n lange auf der nämlichen Stelle bleiben; auch dürfen nicht m rere zusammentreten. Eis, das einen stehenden Mann kaum n tragen würde, bricht, eben jener Vertheilung wegen, weni ein, wenn er sich auf dasselbe hinlegt. Als man im J. 1(über die gefrorene Themse mit Wagen fuhr, fand sich das nur 11 engl. Zoll dick. Auch die Anhängung des Eises Ufer vermehrt seine Tragkraft bedeutend [1].

h. Verdünstung des Eises.

Daſs das Eis durch Verdünstung wirklich einen merklich Theil seiner Substanz verliere, ergiebt sich schon aus der a mäligen Abstumpfung und Rundung seiner scharfen Eck und Kanten, selbst in einer Temperatur, bei welcher keine Schmelzung zu denken ist. Auch bestätigen frühere Ve suche diese Verdünstung. Gauteron [2], Arzt in Montpelli fand im Jahr 1708, daſs 1 Unze Eis über Nacht 24 Gran, al in 24 Stunden etwa $\frac{1}{10}$ ihres Gewichts, ein andermal 100 Gra oder über $\frac{1}{6}$ desselben verlor. Das letztere stimmt mit Mairan Beobachtungen überein [3], nach welchen er das Maximum dies Verlustes in 24 Stunden auf $\frac{1}{5}$ des Gewichts setzt. Wie gr die Oberflächen waren, wird nicht gesagt. In neuern Ze ten hat Dalton [4] zum Behuf seiner neuen Theorie der Ve

---

1 Einen Versuch, eine Eisdecke mittelst Schieſspulver zu spre gen, von J. Merriks angestellt, findet man in dem Edinb. philos. Jour N. 4. und deutsch in G. Ann. LXVII. 111. Man bediente sich da des wirksamen Verfahrens, das Schieſspulver in einem Fläschch 2 Fuſs tief in das Wasser zu versenken. Durch wenige Unzen de selben wurde eine Eisschichte von $3\frac{1}{2}$ Zoll Dicke in einer Ausdehnun von 45 F. Länge und 38 F. Breite völlig zerbrochen.

2 Mém. de l'Acad. 1709. S. 451.

3 Vom Eise S. 240.

4 Mém. of the philos. soc. of Manchester V. u. G. Ann. XV. 14(

dunstung der Flüssigkeiten diesen Gegenstand untersucht und gefunden, „dafs die Verdünstung des Eises das nämliche Gesetz „befolge, wie diejenige des Wassers, dafs sie nämlich eine „Function der *Trockenheit* der Luft, ihrer *Temperatur* und der „*Oberfläche* des Eises sey.“ Er hatte Wasser in einer flachen zinnernen Schale von 6 Zoll Durchmesser, der nämlichen, mit welcher er die Verdunstung des Wassers gemessen hatte, gefrieren lassen, und dieses (freilich nur in Temperaturen von 0° bis −2½° R.) der Luft ausgesetzt. Es ergab sich, dafs diese Fläche von 28 Quadratzollen etwa 9,6 Gran in der Stunde; mithin auf 1 Quadratzoll 0,34 Gran in dieser Zeit verlor. Bei der mit grofser Kälte meistens verbundenen grofsen Trockenheit der Luft und den dann zumal herrschenden Nordostwinden dürfte die Verdunstung des Eises wohl zuweilen aufs Doppelte steigen; zugleich ist es einleuchtend, dafs sie durch die beim Gefrieren statt findende Wärmeentwickelung, zumal wenn die Operation schnell vor sich geht, bedeutend gesteigert werden mufs; daher sie in dieser Epoche oft stärker ist, als selbst bei einer höhern äufsern Temperatur. Setzt man Eis von 0° R. Wärme einer Kälte von etwa — 15° R. aus, so entsteht ein *sichtbarer* Dunst um dasselbe[1].

i. Durchsichtigkeit und optisches Brechungs-Vermögen des Eises.

Das Eis giebt, wenn es frei von Blasen, und seine Oberfläche mit Wasser befeuchtet ist, an Durchsichtigkeit dem Wasser selbst wenig nach, und seine Farbe ist derjenigen, welche eine dicke Wasserschicht zeigt, gleich, nämlich *bläulichtgrün*; besonders schön zeigt sich dieselbe in den, zwei bis drei Fufs dicken Eisblöcken, welche man aus Seen und klaren Flüssen, z. B. der Newa, ausbricht, in den Höhlen und Spalten der Gletscher, und in den schwimmenden Eismassen des Meeres. Sein Brechungsvermögen ist etwas geringer, als dasjenige des Wassers; es verhält sich nämlich nach Kraft[2] der Sinus des Einfallswinkels zu demjenigen des Brechungswinkels im Eise wie 1 : 0,713 im Wasser wie 1 zu 0,75. Man kann daher mit linsenförmigen Eisstücken eben so gut die Wärmestrahlen des

1 S. die Versuche von C. Wistar in American Trans. IV. 72 u. in G. V. 354.

2 Abhandl. der Petersb. Akad. III. 466.

Sonnenlichtes verdichten, wie mit gläsernen Linsen, und M
RAN hat mit einer solchen Eislinse von 4 Zoll Diameter und 3
Brennweite Schiefspulver entzündet. Nach BREWSTER[1] ist
die *polarisirende Kraft des Eises* = $\frac{1}{1000}$; die des Berg
stalls = $\frac{1}{351}$.

k. Leitungsfähigkeit des Eises für Wärme u Elektricität.

Dafs Eis einigermafsen die Wärme leitet, erhellet aus, weil es mit der äufsern Temperatur sich mehr oder wen unter dem Gefrierpunct erkälten kann. Einen directen Vers über die Wärmeleitung des Eises hat unsers Wissens nur D TON[2] angestellt, der jedoch nicht zu dem Schlufs berechti kann, das Eis für einen noch schlechtern Wärmeleiter als Wasser zu erklären. Er setzte einen soliden Eiscylinder 3 Zoll Durchmesser und 5¼ Z. Höhe etwa 1 Zoll tief in Frostmischung aus Schnee und Salz. Oben im Cylinder bef sich ein enges Loch von 1 Z. Tiefe, in welches ein Therm meter gesteckt wurde. Die Temperatur der umgebenden L war + 2°,3 R.; diejenige der Mischung in den ersten anderth Stunden des Versuchs — 10° bis 11° R. Das Thermometer Eise stand lange unbeweglich der Temperatur der Luft gle und sank endlich um ¼° R. Späterhin schmolz der Cylin unterhalb ab und fiel auf die Seite, so dafs die Thermomet kugel nur noch um 1 Z. weit von der kältenden Flüssigkeit stand; in dieser Lage zeigte es — 1°,7 R. während dem Frostmischung von — 8° R. bis — 4°,5 R. zurückging.

In der ersten Hälfte des Versuches hatte die Thermomet kugel 3½ Z. *über* der Frostmischung gestanden; kein Wun also, dafs sie der viel nähern Temperatur der Luft folgte, u von der untern Kälte, die niemals in die Höhe zu steigen pfle nicht afficirt wurde; doch nahm sie späterhin, als sie in gleic Höhe mit der Frostmischung, und in gleichem Abstande v dieser und der äufsern Luft sich befand, die mittlere Tempera an, so dafs also dieser Versuch eher *für* die Wärmeleitung d Eises, als *gegen* dieselbe zu sprechen scheint. Da sie aber n für die Temperaturen *unter* Null statt finden kann, so wird

1 J. de Ph. 1817. T. II. S. 398.
2 Mem. of the Soc. of Manchester V. S. 2. u. S. 373. deut in G. Ann. XIV. 191.

bloſs bei groſser Kälte bemerkbar, und das Eis dient wenigstens durch Abhaltung des Luftzuges als Beschützung gegen die äuſsere Kälte. Es hindert, besonders wenn es noch mit einer Schneelage bedeckt ist, die fortgehende Erkältung der Seen und Flüsse. In Sibirien[1] setzt man Tafeln von klarem Eise in die Fensteröffnungen ein, und läſst sie durch Begieſsen dicht angefrieren. Selbst diejenigen, welche Glasfenster besitzen, setzen auf der Auſsenseite eine solche Tafel als Doppelfenster ein, und die Eskimo's finden hinreichenden Schutz gegen die gröſste Kälte in ihren ausgehöhlten Eiskonen, was schwerlich der Fall seyn könnte, wenn das Eis ein guter Leiter der Wärme wäre.

Ungleich entscheidender sind die Versuche, welche über die elektrische Leitungsfähigkeit des Eises angestellt worden sind. *Das Eis ist ein völliger Nichtleiter der Elektricität.* Erman[2] lieſs in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre zwei Platindrähte so einfrieren, daſs sie nur $\frac{1}{8}$ Zoll von einander abstanden. Dennoch, als er diese Drähte mit den beiden Polen einer thätigen Volta'schen Säule verband, ging keine Spur von Elektricität über; die an beiden Polen angebrachten Elektrometer behielten ihre völlige Divergenz, und die Säule ertheilte Funken und Schläge von gleicher Intensität, wie im unverbundenen Zustande der Pole. Keine Schmelzung des Eises, keine Veränderung an andern oxydirbaren Drähten lieſs sich wahrnehmen, selbst wenn man die Schenkel einer aufrechten krummgebogenen Röhre, in deren Biegung unten sich Eis befand, mit Wasser auffüllte, zeigte sich keine Spur von Mittheilung oder chemischer Wirkung. Bouvier[3] versuchte es, eine Säule aus 40 Lagen Zink, Silber und sehr dünnen Eisscheiben zu bauen, sie verrieth auch nach mehrern Stunden nicht die geringste Wirkung. Eben dieses war auch der Fall mit einer Säule von 90 Lagen aus Silber, Eis und Pappscheiben, die in Salzwasser getränkt waren, und mit einer Säule aus Zink, Eis und Pappscheiben. Wenn man die Pole einer kräftigen Säule aus 128 Lagen Zink, Silber und mit Salzwasser benetzter Pappe, die heftige Schläge gab, mit kleinen Eisstücken berührte, verspürte man

1 Gmelins Reise nach Sibirien in den allg. Hist. d. Reisen XIX. 286. oder auch in der Göttinger Sammlung neuer und merkwürdiger Reisen. V. 401.

2 G. Ann. XI. p. 166.

3 Journ. de Phys. p. Van Mons. Nr. 10. S. 52. übersetzt in G. Ann. XIII. 434.

nicht die geringste Erschütterung; eben so wenig irgend Geschmack, wenn man, den einen Pol der Säule mit der anfassend, mit einem Stückchen Eis im Munde den ander rührte. Was endlich die Nichtleitung des Eises aufser Zweifel setzt, ist die von Erman[1] beigebrachte Nachricht, Achard aus trockenem Eise einen drehbaren Cylinder Elektrisirmaschine verfertigt habe, die gute Funken gab.

1. Aufthauen des Eises.

Der Uebergang in den flüssigen Zustand, oder dasje was bei Metallen *Schmelzung* heifst, wird beim Eise *Aufth* genannt. Dieses erfolgt in derjenigen Temperatur, welch den Thermometern durch den Schmelzpunct des Eises den sogenannten Gefrierpunct bezeichnet zu werden p Das Zergehen des Eises geht meistens langsamer von sta als das Festwerden desselben. Denn die Wärme vermag dem flüssigen Stoffe schneller zu entweichen, als sie in festen Körper eindringen kann, den sie nur an der Oberfl bestreicht. Auch ist ihr Bestreben, sich aufwärts zu bewe ihrem Entweichen aus dem Wasser auf der Erde in den fr Luftraum günstig, und ihre Einführung in die niedrigen L schichten wird oft nur durch die Bewegungen der Atmospl durch Wind und Regen beschleunigt. Daher das Eis in sol Einsenkungen, die den Sonnenstrahlen und dem Luftzuge zugänglich sind, z. B. in Eishöhlen und Eisgruben, in B schluchten u. dgl. nicht leicht schmilzt. Das Aufthauen au dehnter Schneemassen wird auch durch die Herstellung j 60° R., welche die Fluidität des Wassers bedingen, merk verzögert, so dafs in Schneebedeckten, wasserreichen Gegen das Thermometer oft viele Tage lang nur wenig über den I punct sich erhebt. Regen und heftige warme Winde sind wirksamsten Beförderungsmittel der Aufthauung. Der ers wirkt um so kräftiger, da überhaupt bei gleicher Wärme *di tere* Körper das Eis schneller schmelzen. Silber und Ku sollen es hierin den andern Metallen zuvorthun. Nach Ho berg[2] soll in luftleerem Raume das Schmelzen des Eises dreimal schneller vor sich gehen, als in der Luft. Eben die ist nach Leslie auch im Wasserstoffgas der Fall. Das Eis z

1 G. Ann. II. 168.

2 Mém. de l'Acad. 1693. T. X. S. 265.

geht nicht gleichförmig, sondern einige Stellen, besonders die Eisfäden, mit welchen das Gefrieren begann, widerstehen der Auflösung länger; daher wird es porös und brüchig. Auf Seen treiben oft lange noch dünne Eisfelder herum, die, kaum über das Wasser hervorragend, nur durch ihre mattere Oberfläche vom Flüssigen zu unterscheiden sind. Diese sollen nach der Aussage von Augenzeugen *plötzlich in ihrer ganzen Ausdehnung zu versinken scheinen;* eine Erscheinung, die leicht statt finden kann, wenn die Eisrinde so dünn geworden ist, dafs ihr zehnter Theil dem Zusammenfliefsen des Wassers auf ihrer Oberfläche keinen erheblichen Widerstand entgegenzusetzen vermag. Nach Martens[1] zergeht das Eis im Salzwasser viel schneller als im süfsen Wasser.

m. Anomale Eisbildung, Grundeis.

Der deutsche Name bezeichnet diese Art von Eis so bestimmt, dafs sie kaum einer Erklärung bedarf. Es ist Eis, welches am *Boden* der Gewässer sich erzeugt. Es findet sich nicht in Teichen oder Seen, sondern nur in *bewegtem* Wasser, und macht den gröfsten Theil des Treibeises aus, welches Flüsse, die nicht aus Seen ablaufen, zu Anfang des Winters mit sich führen, und welches in der Folge durch die Hemmung der Strömung das Gefrieren des Flusses an seiner ganzen Oberfläche veranlafst. Die Art, wie dieser Gegenstand von den meisten physikalischen Schriftstellern abgefertigt worden ist, gehört zu den Schattenseiten unserer Naturlehre, und zeigt, mit welcher Vorsicht die Anwendung auch wohl gegründeter Doctrinen, wenn sie (nicht etwa mit den vermeintlichen Erfahrungen Neuigkeitssüchtiger Physiker, sondern) mit den Thatsachen des sogenannten Volksglaubens in Widerstreit geräth, verfolgt werden mufs.

Schon durch sein äufseres Ansehen unterscheidet sich das Grundeis von demjenigen, das an der Oberfläche des Wassers sich bildet, es ist poröser, grauer, schwammiger als jenes, und sieht mehr einem durchnäfsten Schneeklumpen, als eigentlichem Eise ähnlich. Bei näherer Untersuchung zeigt sich dasselbe aus einer Menge kleiner, dünner, runder und durchsichtiger Eisscheiben, von etwa ¼ Zoll Durchmesser bestehend[2], deren Zwi-

1 Reise nach Grönland im Jahre 1671. Recueil des voyages au Nord. T. II. p. 41. Ed. Amsterd. 1732. 8.

2 Merian in d. Ann. der Allgem. Schweizerischen Gesellsch. d. Naturf. Bd. II. S. 59. Bern 1824. 8. u. Bibl. Univ. XXVIII. 125.

schenräume sich in der Folge noch mehr ausfüllen. Es ersch erst bei anhaltender Kälte, und soll durch Winde, welche Bichtung des Stromes entgegenwehen, besonders befördert v den; am Grunde setzt es sich an hervorragenden Stellen Rodens an, von welchen es später, sey es durch die Ström oder bei erfolgendem Thauwetter, sich losreifst, und du seine specifische Leichtigkeit gehoben, Sand und Steine, schwere am Boden gelegene Körper als Zeugen seiner Abst: mung an die Oberfläche mit sich bringt.

Der Erste, welcher die allgemeine Erfahrung der Landle Fischer, Müller und Schiffleute zur Sprache brachte, war Pı in seiner Naturgeschichte von Oxfordshire[1]. Seine Angal wurden etwa drei Decennien später von Hales[2] aufs Umstär lichste bestätigt, und nicht nur durch fremde Zeugnisse, sond durch eigene in den Wintern 1730 und 1731 genommene A sicht und Untersuchung aufser Zweifel gesetzt, er fand, dafs Grundeis sich zuerst ansetzte, wo die Geschwindigkeit des St mes geringer war, und dafs dasselbe auch ohne vorhergeg genen Schneefall sich erzeuge. Es fand sich in der Themse solchen Stellen, wo Fluth und Ebbe noch wirkt, und auch wo diese nicht mehr statt hatte. Die Wasserleute an der Then fühlten das Grundeis mit ihren Stangen mehrere Tage vorh ehe die Oberfläche des Flusses überfror, und *sahen* es auch r solcher Gewalt vom Boden emporsteigen, dafs es auf der schm len Kante stehend ½ bis 1 Fufs über die Oberfläche hervorscho eine Zeitlang in dieser Stellung blieb, und dann auf die flac Seite sich hinlegte. Weder so evidente Thatsachen, noch Autopsie eines Mannes, der sich so eben durch ein classisch Werk als gründlichen Physiker erwiesen hatte, selbst die v ihm beigefügte natürliche Erklärung, „dafs dieses Gefrieren a „Grunde, da es nie in Seen und Teichen sich zeigt, der *Bew „gung* des Wassers, die alle Theile durch einander werfe, u „so eine gleichförmige Erkältung in allen Schichten bewirk „zuzuschreiben sey," konnten den Abbé Nollet[3] abhalte die ganze Sache für Täuschung und für ein Vorurtheil des Pöb

1 Natural hist. of Oxfordshire 2. Ed. fol. 1705. S. 28.

2 Vegetable Statics. Lond. 1731. 8. im Appendix. Die Ausgal von 1727 enthält hiervon nichts.

3 Mém. de l'Acad. p. 1743. p. 51.

zu erklären, für dessen Widerlegung er sich sogar entschuldigen zu müssen glaubte. Seine Einbildung, nichts gelten zu lassen, was nicht in seine Erklärung paſste, wich selbst nicht der eigenen Untersuchung, die er im J. 1743, als bei einer Kälte von — 10° R. die Seine gefroren war, anstellte. Er lieſs an verschiedenen Stellen, näher und ferner vom Ufer das Eis aufhauen, und fand die Stücke an ihrer untern Fläche nicht eben, wie dies am Eise stehender Gewässer der Fall ist, sondern schwammig und locker, wie von zerstoſsenem Eise. Das Wasser in den Löchern war nicht klar, sondern es enthielt eine Menge kleiner, loser Eisstücke, ähnlich denjenigen, welche an der Unterfläche des Eises sich angesetzt hatten. Ja, was noch auffallender war, so oft man auch die Löcher von diesen Eisfragmenten reinigte, so kamen immer wieder neue hervor und die Arbeiter erklärten, daſs dieses lose Eis, welches sie *bouzin* nannten, sich während der Nacht auf dem Grunde erzeuge, und am Tage durch die Sonne heraufgezogen werde; es sey daher auch meistentheils schmutzig, mit Erde, und selbst zuweilen mit Grashalmen vermengt. Diesem Allem setzte Nollet nur das, einseitig von ihm erkannte, Naturgesetz, und (allerdings mit besserm Rechte) die Bemerkung entgegen, daſs nach seinen Beobachtungen das Wasser unter dem Eise bei verschiedenen Kältegraden und Dicken der obern Eisrinde am Grunde niemals die zum Gefrieren erforderliche Kälte besessen habe. Spätere Versuche haben uns jedoch[1] hierüber eines Andern belehrt[2].

Nollet's Ansehen, und der Anschein von Wissenschaftlichkeit im Gegensatze zum Volksglauben überwog die Zeugnisse der englischen Physiker; ihm pflichtet Mairan[3] unbedingt bei, und selbst der gründliche Gehler[4] in den frühern Ausgaben dieses Wörterbuches fertigte die Sache als ein altes Vorurtheil kurz ab. Ihm waren vermuthlich Desmarest's[5] und Brauns[6] Untersuchungen unbekannt geblieben, deren zahlreiche Thatsachen jeden Zweifel über diese Sache ausschlieſsen. Desmarest erklärte vor der Akademie, daſs er im Winter von

1 Mém. de l'Acad p. 68.

2 Siehe unten die Versuche bei Straſsburg.

3 Vom Eise p. 157.

4 Phys. Wörterb. I. p. 676.

5 Mém. de l'Acad. 1776 und Journ. de ph. 1783. I. p. 30.

6 Journ. de Ph. 1788. II, p. 59.

1780 am Boden des Canals, der Montgolfiers Papierfabrik Wasser versieht, das Eis habe sich bilden und aufsteigen g hen; eben das hatte er auch in der Drome an solchen Ste wahrgenommen, wo der Strom zu reifsend war, um an Oberfläche zu gefrieren. Er bemerkte, dafs das Grundeis *unten* her wachse, und dafs die dadurch bewirkte Erheb seiner obern Fläche zuweilen in einer Nacht 5 bis 6 Zoll trug. Brauns sah in der Elbe ebenfalls das Eis vom Gru aufsteigen; er liefs eines Abends in mehr als 20 Fufs tief zv Körbe hinunter, um Aale darin zu fangen, zur Zeit als der F noch frei von Eis war. Als sie Tags darauf in der Mittagsstu herausgezogen wurden, fand man sie inwendig (wo das Wa ruhiger gewesen war) ganz mit durchsichtigen Eiskügelchen krustirt. Das Innere war mit kleinen Eisscheiben, von hö stens 2 Quadratzollen Fläche und $\frac{1}{6}$ Zoll Dicke erfüllt. Brau bemerkt, dafs nach der Ordnung dieser Körbe das Eis nicht h von Aufsen eindringen können. Eine Menge unzweifelhaf Beobachtungen über das Grundeis, von verschiedenen Beobac tern entlehnt, stellt Brauns[1] zusammen, und Desmares fügt noch aus den Denkschriften der Haarlemer Societät merkwürdige Factum hinzu, dafs versunkenes Holz, und so einmal ein Boot, das im Spätjahr bei Krimpen im Lech v sunken war, durch ansitzendes Eis erleichtert, an die Oberfläc des Wassers gehoben worden sey. Brauns bemerkt, dafs haarigen Stoffe, Hanf, Wolle, Moos u. dgl. am leichtesten Eis besetzt werden. Unter den Metallen hänge es sich am eh sten an Kupfer, Messing, Stahl, Zinn an; von den Stein an den weichen Sandstein, und alle rauhen Steine; weniger d gegen an glatte, oder auch an Backsteine. Ein runder St vulcanischer Natur wurde nie besetzt. Eben so wenig die Har Siegellack, Pech, Colophonium, Wachs, Wachstuch, Sei gegerbtes Leder, und abgehobeltes Holz.

Die Zahl der Zeugen, welche das Grundeis im Boden d Flüsse selbst gesehen haben, läfst sich noch täglich vermehre Besson[3] beobachtete es am Niederrhein; Leslie[4] behauptet

1 Hannöv. Magazin. 1783. Nr. 20—22.
2 J. de Ph. XXXIII. 68.
3 J. de Ph. XXXIV. 387.
4 On heat and moisture. Vorrede.

von mehrern Flüssen in Sibirien, in der Schweiz u. s. w. Garnett erzählt, daſs ein Wehr des Flusses Wharfe in Yorkshire zuweilen am Boden mit einer dicken Eiskruste bedeckt werde, so daſs diese zuletzt einen förmlichen Damm bildet. Merian[1] bestätigte das Phänomen im St. Albancanal in Basel; und ich selbst habe das Grundeis im Januar 1826 im Canal der Sihl in Zürich oft gesehen. Es lag fest auf den Kieseln des Fluſsbettes in unförmlichen Klumpen von 2 bis 3 Fuſs Länge, weiſslicht grau, gerade wie Merian es beschreibt. Das auffallendeste Beispiel dieser Eisbildung aber berichtet der K. Preus. Lootsen-Commandeur Steenke in Pillau[2]. Am 9. Februar 1806 kamen bei einem starken Südostwinde und + 1° R. Wärme die 6 Klafter langen eisernen Ketten, woran die Tonnen des Seegatts befestigt sind, und die seit Jahren bei Schappelts-Wrack in einer Tiefe von 15 bis 18 Fuſs verloren gelegen hatten, plötzlich an die Oberfläche des Wassers herauf, und schwammen auf derselben; sie waren aber *mit Eis* in einer starken Mannsdicke ringsum völlig candirt. Eben so stiegen Steine, 3 bis 6 Pfundschwer, von selbst auf die Oberfläche; sie waren mit einer starken Eiskruste umgeben. Auch kam ein Tau von 3½ Zoll Dicke und etwa 30 Klafter Länge, das im verwichenen Sommer in 30 Fuſs Tiefe verloren gegangen war, wieder zum Vorschein, und lag horizontal auf dem Wasser; es war aber auch von Eise ringsumher 2 Fuſs dick befroren. An eben diesem Tage muſste ein Schiff, das aus der See kam, gegen den Ostwind eingewarpt (d. h. an einem vorwärts ausgebrachten Anker in den Hafen gezogen) werden. Der Anker, den man dazu gebrauchte, war, nachdem er eine Stunde im Grunde gelegen hatte, dergestalt mit Eis befroren, daſs es nur der Hälfte der gewöhnlichen Kraft bedurfte, um ihn in die Höhe zu bringen.

Die eigentliche Erklärung, wie die Bildung des Grundeises möglich sey, wird uns, wie schon Hales einsah, durch die Beobachtung selbst zugewiesen, nämlich durch den Umstand, daſs das Grundeis nur in *bewegten*, niemals im ruhigen Wasser sich findet. Im *bewegten Wasser* kann jene Lagerung der Wasserschichten nach dem Verhältniſs ihrer durch die Temperatu

1 a. a. O. S. 61.

2 Gilb. Ann. XXII. p. 332. u. Hamb. Corresp. Nr. 41. u. 48. 1806. Pillau ist der Hafen von Königsberg am Ausfluſs der Pregel.

bedingten Dichtigkeit unmöglich statt finden. Die Ström
bringt unaufhörlich so mannigfache Bewegungen, Wälzung
Windungen und Strudel hervor, welche den geringen Unt
schied des specifischen Gewichts der zwischen 0° und dem Pur
der gröfsten Dichtigkeit nur $\frac{1}{100000}$ ausmacht, leicht überw
den, so dafs die ganze Wassermasse so ziemlich gleiche Schw
und somit auch gleiche Temperatur erhält. Wird nun die Ob
fläche des Stromes erkältet, wozu eine entgegengesetzte Luftst
mung durch das Aufwühlen der Wasserfläche besonders wi
sam ist, so theilt sich diese Abkühlung allmählig der gan
Masse mit, so dafs diese durchgehends bis auf Null erkältet wi
In diesem Falle bieten dann die Hervorragungen des Bode
und die ruhigern Stellen des Wassers der Krystallbildung wi
kommene Stützpuncte dar, während dem eben die Bewegu
sie in den übrigen Theilen des Wassers unmöglich macht.
aber, wie wir oben unter a. gefunden haben, die Erschütteru
gerade ein Beförderungsmittel des Gefrierens wird, wenn
Wasser unter Null erkältet ist, so folgt, dafs auch selbst bei grof
Kälte die Oberfläche des Wassers immer noch so viel Wär
festhalten und an sich ziehen müsse, dafs sie nicht merkli
unter den Eispunct erkältet werde. Diese Wärme steigt ihr
den untern Schichten zu. Ist einmal durch die beständige A
kühlung der Oberfläche alle entbehrliche Wärme der Wasse
masse in ihrer ganzen Tiefe aufgezehrt, so müssen die geschüt
ten Stellen in den festen Zutand übergehen, damit aus jenen fr
werdenden 60 Graden (s. oben bei f.) das bewegte Wasser n
so viel Wärme versehen werden könne, als nöthig ist, um
bei Null zu erhalten. Es ergiebt sich hieraus 1. dafs vore
die ganze Masse eines Stromes mit seinem Zuflufs durchgän
bis auf Null erkältet seyn mufs, ehe ein Flöckchen Grundeis si
bilden kann. 2. Dafs die Temperatur des Stromes nirgen
unter Null gehen kann[1]. 3. Dafs bei fortgehender Erkältu
diejenigen Stellen, wo das Wasser ruhiger ist, sey es am Ran
der Oberfläche, oder hinter schützenden Erhöhungen auf de

1 Dieses wird auch durch directe thermometrische Untersuchu
gen, die am 11. Febr. 1816 bei Strafsburg im Rhein bei 12° Käl
angestellt wurden, bestätigt. Das Wasser zeigte an der Oberfläch
auf 6 Fufs Tiefe am Grunde, und in der mittlern Tiefe von 3
beständig Null. Auch das Grundeis hatte eben diese Temperatur.
Bibl. Univ. VII. 304.

Grunde, gefrieren müssen, um die zur Fluidität der bewegten Wassermasse erforderliche Wärme herzugeben. Durch diese erste Ansetzung wird die Zahl der ruhigen Stellen im Strome vermehrt; die Zwischenräume füllen sich aus, und es entstehen Eisklumpen, deren Volumen bald grofs genug ist, um durch den Unterschied des specifischen Gewichts die Adhäsion am Boden zu überwinden; die Massen steigen empor, und der Flufs treibt Grundeis. Mit der Vermehrung desselben wird der freie Lauf des Stromes gestört, es bilden sich ruhige Zwischenstellen an der Oberfläche, die bald gefrieren und mit jenen schwimmenden Fragmenten vereint den Strom mit einer, gegen fernere Abkühlung beträchtlich schützenden, Eisdecke überziehen, deren Bildung ohne das Grundeis unmöglich gewesen wäre.

II. Eisbildungen der Natur im Grofsen.

1. Gletscher; Glacier; *Ice-hill.*

Die ungeheuren Ablagerungen von unvergänglichem Schnee und Eis in den Thälern und auf dem Rücken der Hochgebirge.

Die Temperatur des Erdballs ist in den grofsen Höhen der mildern Zonen, und in den weniger erhöhten Gebirgen der Polarländer so niedrig, dafs die atmosphärischen Niederschläge, die über dem flachen Lande und dem Meere als Regen herabströmen, dort meistens als Schnee niederfallen, der unverändert und ungeschmolzen, nur von Stürmen umhergeworfen, in immer wachsenden Lagen sich aufhäuft. Seine breiten Gefilde verdecken in sanften Abhängen die Felsklüfte des zerrissenen Gebirges und bahnen dem muthigen Ersteiger den Weg zu sonst unzugänglichen Höhen. Wenn der überwiegende Druck eigener Schwere diese verjährten Lasten zum Fallen bringt, oder eine äufsere Kraft sie vom steilen Abhange herabwirft, so zerfallen sie in Wolken von feinem Gestöber, das der Wind verweht. Oft auch stürzt die verdichtete Schneelast als Lawine in die Tiefe des Thales, und mehrere Sommer vermögen nicht sie zu schmelzen. So lagern sich die Schneemassen zu beiden Seiten des Gebirgszuges in den *Querthälern* desselben, während dem das breitere Längenthal von einem Strome durchzogen wird, der die Producte ihrer allmäligen Schmelzung dem niedrigern Lande zuführt. Je mehr sich der Zug der Gletscher dem Grunde des tief eingeschnittenen Thales nähert, desto mehr wirkt das mildere Klima der tiefern

Gegenden auf seine Verwandlung ein. Sonnenwärme, Re
und der Hauch warmer Winde zur Zeit des Sommers durch
hen die zusammengedrückte Schneelagerung mit Wasser,
so wird bei der Rückkehr der Kälte aus der Masse ein Schne
gebildet, das unterhalb dichter, in den höhern Regionen
vollständiger und lockerer ist; die obersten Höhen, wel
nie Schmelzwasser oder Regen durchdringt, werden nur le
von einer dünnen glänzenden Eiskruste überzogen, die u
dem Fuſs des Wandernden einbricht.

Die nämlichen Umstände, welche die Entstehung e
Gletschers bedingen, sind auch seiner Erhaltung günstig.
Höhen, wo ein neunmonatlicher Winter den Regen der Tl
gegend in Schnee verwandelt, kann der kurze Sommer
einen geringen Theil jener zwischen hohen Felswänden ein
schlossenen, gegen Wind und Sonne geschützten Eisla
schmelzen. Es müſste sich also Schnee auf Schnee häufen, u
das Gerippe des Gebirges so hoch überdecken, daſs nur un
heure, zerstörende Schneestürze die Ueberlast entladen könnt
und die jetzt fruchtbaren Thalgegenden weit umher unbewol
bar würden. Die Natur jedoch, immer schaffend und ver
dernd, weiſs das Gleichgewicht durch einfachere und gelind
Mittel wieder herzustellen. Sie läſst die Gletscher weit un
ihren Entstehungspunct in die Ebene des Hauptthales hinun
gleiten. Dicht an beblümte Wiesen, zwischen obstreiche Ba
me, und in reifende Saaten hineingedrängt, kann die Eisma
der Hitze und den erwärmenden Regengüssen eines kräftig
Sommers nicht widerstehen; und wenn auch die immer si
nachschiebende Masse zuweilen keine Verminderung zu erleid
scheint, so sind doch die reichen Wasserströme, die dem Fu
des Gletschers entfliessen, unverwerfliche Zeugen seiner A
nahme.

Der Gletscher läſst sich seiner äuſsern Beschaffenheit na
einem gefrornen Strome vergleichen, der zwischen den Fel
wänden eines Gebirgthales in einer Länge von 2 bis 4 deutsch
Meilen und $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ Meile mittlerer Breite in verschiedenen Se
kungen ins tiefere Thal hinabsteigt. Da wo er wenig gene
ist, gleicht seine Oberfläche einer rauhen hügelichten Ebe
mit körnigem Schnee bedeckt, der hie und da in der Nähe d
Ufers vom Sande und Staube der verwitterten Felsen beschmut
ist. Hier zeigen sich sparsamer jene weiten und tiefen Spalte

die, oft von einer trügerischen Schneebrücke verdeckt, dem Reisenden verderblich werden. Wo aber die Unterlage des Gletschers sich stärker senkt, da findet er sich in gewaltige Eisblöcke zerklüftet, die bei jähen Abschüssen wild über einander gestürzt in wunderbaren gigantischen Formen von Thürmen und Gewölben vom prächtigsten Blau erglänzen. Am Ausgange des Gletschers ist seine Oberfläche mit Sand und herabrollenden mächtigen Felstrümmern bedeckt, die zu einem Damme (Moraine genannt) sich anreihen, der beim Schmelzen abgelegt auch nach Jahrhunderten die Stelle zeigt, bis zu welcher die Eismasse vorgerückt war. Hier bildet das Eis oft prächtige, haushohe Grotten, deren Tiefe graulichtweiſs der Strom entrinnt, und deren Wände das reinste Dunkelblau wiederstrahlen.

Woher dieses Vorrücken der Gletscher komme, darüber sind die Meinungen verschieden. Saussüre[1] erklärt dasselbe sehr einfach dadurch, daſs durch die Wärme der Erde, für welche die auch im Winter dem Fuſs des Gletschers entflieſsenden Quellen zeugen, im Sommer durch die Erwärmung des Bodens überhaupt und durch die Einwirkung der Luft die unteren Lagen des Gletschers geschmolzen werden, wodurch die feste Verbindung der Eismasse mit dem Boden aufhört, und diese hauptsächlich in der mildern Hälfte des Jahres durch die Wirkung der Schwere auf der schiefen Fläche des Bodens in langsamer und anhaltender Bewegung allmälig hinunter rutscht.

Diese ganz natürliche Erklärung schien jedoch einigen Naturforschern nicht genügend; sie verwarfen die allmälige Bewegung durch die mächtige Kraft der Schwere, und glaubten eine weit geringere Wirkung zu Hülfe nehmen zu müssen, nämlich die Ausdehnung des in den Gletscherspalten befindlichen Wassers, wenn es zu Eis gefriert. Besonders ist diese Idee von dem Bergrath Toussaint de Charpentier in einer zu Breslau gehaltenen Vorlesung[2] umständlich entwickelt worden. Eine Widerlegung derselben verdanken wir einem gründlichen Alpenforscher, dem verstorbenen Escher von der Linth[3]. Es mag hier genügen, das Unzulässige jener Hypothese mit wenigen Gründen darzuthun:

1 Voy. dans les Alpes I. p. 453.
2 G. Ann. LXIII. 388.
3 G. Ann. LXIX. 114.

1. Sind jene Querspalten selbst das Erzeugnifs der I
bewegung des Gletschers, da sie, wie eine unbestrittene E
rung zeigt[1], vornehmlich da sich ergeben, wo der Abhang
ler wird; sie sind *sehr selten* in den *flachern* Gegenden
halb des Abhanges, und die Fortschiebung der Masse an
steilern Stelle kann also nicht von dem Keildrucke des spärli
Eises jener unbedeutenden höher liegenden Spalten bev
worden seyn, sondern sie ist das Resultat des Gewichtes
Masse, die, über das convexe Bord des Abhanges gescho
nothwendig nach der Richtung dieses Standes, d. h. quer
den Thalweg, gebrochen werden mufs. Eben deswegen mü
diese Spalten keilförmig, d. h. oberhalb weiter als unten s
Einige dieser Spalten sind auch zuweilen ganz durchgehend
auf den Boden des Gebirges, zu welcher Durchbrechung
erwärmende Kraft des von der Sonne geschmolzenen Eiswass
in welchem nach den oben unter a. entwickelten specifisc
Schweren des Wassers die wärmsten Schichten die unter
sind, vieles beitragen mag[2].

2. Die Bewegung der Gletscher findet nicht im Win
sondern in der wärmern Jahreszeit statt, wie das die *öfters*
zwar im Sommer angestellten Messungen, und die mit Don
ähnlichem Getöse begleiteten Erschütterungen der Gletscher
dieser Jahreszeit beweisen[3]. Allein nach Saussüre's sorgf
tiger Beobachtung[4] gefriert das Wasser in jenen Spalten
Sommer höchstens einen Finger dick zu, so dafs von einer

---

1 Auch Pater Biselx in s. Abhandl. von dem Schnee, den
winen und Gletschern in den Alpen. (Bibl. Univ. 1819. u. in G. A
LXIV. 183) bemerkt, dafs diese Spalten sich stets da finden,
das Thal stärker sich neigt.

2 Uebereinstimmend mit der schmelzenden Kraft, durch wel
das auf dem Gletscher durch die Sonne erwärmte Wasser *sich* unt
wärts in das Eis einfrifst, und *Löcher* von einiger Tiefe bildet, de
Entstehen Rumford aus dem Niedersinken der wärmern Wasserthe
befriedigend erklärt hat. G. Ann. 1800.

3 Charpentier behauptet zwar, (a. a. O. S. 400) ohne nähern E
weis, das Vorrücken der Gletscher finde im Frühjahr, *nicht im So
mer oder Herbste* statt. Wenn wir auch, mannigfachen Erfahrung
entgegen, das Letztere zugeben wollten, so wäre doch wenigste
Thauwetter dazu nothwendig. Niemand aber wird dem *aufthauend*
Eise eine so grofse Ausdehnungskraft zuschreiben.

4 Voy. T. I. Chap. VII. p. 445.

dünnen Eistafel keine Wirkung zu erwarten ist. Sollte später bei vermehrter Kälte das Wasser auch im Innern gebildet werden, so würde es mit leichterer Mühe die, bei der Erweiterung der keilförmigen Spalte nach oben leicht zu hebende, obere Eisdecke sprengen, als Lasten von vielen Millionen Pfunden auseinander treiben.

3. Wäre die Bewegung der Gletscher das Resultat einer solchen Ausdehnung des Eises im Augenblicke des Gefrierens, so müſste sie stoſsweise und zwar entweder in den ersten Herbstfrösten oder zur Winterzeit erfolgen. Beides ist nicht der Fall; der Gletscher bewegt sich langsam und allmälig mit einer Geschwindigkeit, die nur nach Tagen und Wochen durch seine Annäherung an abgesteckte Zeichen bemerkbar wird; und dieses sanfte Fortrücken geschieht gleichwohl mit einer so unwiderstehlichen Macht, daſs auch feste Felsen sie nicht aufzuhalten vermögen. Ein glaubwürdiger Alpenforscher, Kuhn[1] führt hievon ein merkwürdiges Beispiel an. Auf dem Gletscher des Mettenberges bei der Ortfluh sah er im Jahr 1779 einen mächtigen Granitblock zwischen der Seitenwand des Gletschers und einer vorspringenden Felsenecke eingeklemmt. Dieser wurde durch das weitere Vorrücken der Eismasse so gepreſst, daſs er in einigen Wochen nach und nach in kleine Stücke zerbrach, von denen keines mehr einen Kubikfuſs hielt.

Es gehört wahrlich ein wenig Paradoxie dazu, um die Bewegung der Gletscher von einer im Verhältniſs der zu bewegenden Masse so kleinen, vereinzelten Kraft, wie diejenige des gefrierenden Wassers in den Gletscherspalten ist, herzuleiten, und den diametralen Gegensatz der Zeiten, in welchen die vermeinte Ursache und hingegen die Wirkung statt hat, übersehen zu wollen, wenn dieser Ursache gegenüber uns eine Kraft zu Gebote steht, welche, von keinen Zufällen abhängig, stetig wirkend, und mächtig genug ist, um alle Erscheinungen im Einklange mit der Erfahrung auf eine ungezwungene Weise zu erklären. Selbst ein Laie in der Statik wird, wenn er die unleugbaren Spuren der Bewegung einer solchen ungeheuern Eismasse, ihr Zerbrechen an stärker geneigten und convexen Stellen, ihr ganz allmäliges Fortrücken wahrnimmt, und dabei die

[1] Höpfner's Magazin f. d. Naturkunde Helvetiens. 1787. 8. I. S. 130.

beträchtliche Neigung der Ebene, auf welcher diese wenig härente Masse aufgelagert ist, betrachtet, des natürlichen dankens sich nicht erwehren können, dafs hier die allgem und allmächtige Kraft der *Schwere* thätig sey. Nehmen wi Reibung des Eises an der Fläche des Berges, und die Su aller localen kleineren Widerstände auch zu ⅓ der Last ar wird sich bei einer Neigung von 20 Grad gegen die Horizo linie die Masse dennoch in Bewegung setzen. Die neuern tersuchungen über die Wärme der Erde belehren uns, dal in den Tiefen beträchtlich erwärmt, und ihre Temperatu der Oberfläche nur eine durch Ausstrahlung bewirkte, von Sonnenstrahlen nicht in allen Klimaten hinlänglich compen Erkältung sey. Unter dem Gletscher ist die Erde gegen d Ausstrahlung geschützt, und selbst eine bedeutende atmospl sche Kälte würde Eismassen von einigen hundert Fufs D nicht durchdringen. Wir dürfen also annehmen, dafs die T peratur des Bodens der Eismasse selbst im Winter nur we unter Null sey, und beim Eintritt der mildern Jahreszeit du den Zutritt des Regens und der wärmern Luftströme, die du jene Grotten unter den Gletschern hinaufsteigen, bald um viel über den Eispunct erhoben werde, als nöthig ist, um beiden berührenden Flächen *nafs* zu erhalten. Rechnen dazu die, aus dem oben angeführten Experimente mit den Fel hervorgehende, zermalmende Kraft so ungeheurer Eislasten, werden wir das Bette des Gletschers so ziemlich ausgeeb annehmen müssen, so dafs eine Reibung von ⅓ wohl noch hoch angeschlagen seyn dürfte. Da die Curve des Thalabh ges oberhalb meist stärker gekrümmt ist, als bei ihrem Ausl so ersetzt die steilere Senkung des Abhanges und der losere Z sammenhang der Schneemasse die Hindernisse einer stärke Reibung und den Mangel der nachschiebenden Masse; und können wir uns getrauen, zur Erklärung des Fortschiebens Gletscher mit der einfachen Wirkung der Schwere auf der g neigten Ebene auszureichen, ohne weiter der Ausdehnung gefrierenden Wassers, noch der innern Einstürze unterhöhl Eisgewölbe [1] zu bedürfen.

Der oben aufgestellten Ansicht zu Folge erhält also Gletscher sein Wachsthum von dem Schnee, welcher jährli

---

1 Nach der Meinung Eschers von der Linth. G. Ann. LXIX. 11

in den höheren Theilen des Gebirges fällt und von den schroffen Felsenabhängen, wo er nicht festhalten kann, in die Einsenkung herabrutscht. Die der Tiefe allmälig zugleitende Masse wird auch durch Lawinen und Schneestürze oft beträchtlich vermehrt. Thauwetter, Regen und Sommerwärme befördern das Hinabgleiten des Gletschers, daher er zuweilen mehrere Jahre hindurch bedeutend ins Hauptthal hinaustritt. In warmen Sommern wird er dort beträchtlich geschmolzen, weniger in nafskalten; daher bei gleicher Fortschiebung das Hinaustreten in die Ebene (das *Vorrücken des Gletschers*) nach *nassen* Sommern stärker erscheint, als nach trockenen; auch mufs dazu die in der Höhe, eben der nassen Witterung wegen, häufigere Schneeablagerung mitwirken. Nach mehreren warmen und trockenen Sommern wird die Abschmelzung am untern Theile vermehrt, die Zunahme in den höheren Regionen, des heitern Wetters wegen, verringert, und der Gletscher *zieht sich zurück*, weil mehr geschmolzen wird, als nachkommt. An eine *Periode* dieses Vorrückens und Zurücktretens ist nicht zu denken. Oft nimmt ein Gletscher mehrere Jahre hindurch beträchtlich zu, während dem ein anderer benachbarter abnimmt[1]. Auch die *Schnelligkeit* der Fortbewegung ist sehr verschieden. Der Bossons-Gletscher im Chamounithale war vom August 1815 bis Juli 1816 um 30 Fufs vorgeschritten[2], nach CHARPENTIER's Angabe[3] sogar in 3 Jahren 1048; oder jährlich 350 Fufs. Auch KUHN[4] erwähnt vom Grindelwald-Gletscher, im Jahr 1773 dafs er eines Tages hart an einem Felsblocke gestanden habe; am folgenden Morgen war er auf die Mitte desselben vorgerückt, und am nämlichen Abend war der Block bereits ganz vom Eise bedeckt.

Dafs das Vorrücken der Gletscher auch in den Höhen des ewigen Schnees statt finde, davon zeugen die Unglücksfälle, welche im Frühjahr 1818 das Bagnethal in Wallis an der südlichen Grenze der Schweiz betroffen haben. Die Abstürze des hohen Getrozgletschers hatten die Thalverengung, durch wel-

1 Zahlreiche Beispiele hiervon finden sich in Biblioth. Univ. IV. 285.

2 Bibl. Univ. 1816. Juniheft u. G. Ann. LXIV. 200.

3 G. Ann. LXIII. 409.

4 Höpfners Mag. I. 125.

che die Drance abfliefst, ausgefüllt, und das Wasser zu e
grofsen See aufgestauet, dessen plötzlicher Durchbruch d
das ganze Thal hinunter die gräfslichsten Verwüstungen an
tete, indem in weniger als einer halben Stunde mehr als
Millionen Kubikfufs abflossen. Die Anhäufung dieser Gletsc
masse ist nun seither durch die sinnreiche Idee des dortiger
genieurs VENETZ, den Gletscher durch Quellwasser, das
der Entfernung in hölzernen Rinnen auf derselben hingel
wurde, zu zerschneiden, mit dem besten Erfolg verhin
worden [1].

Bemerkenswerth sind auch die uralten mit Erde bedec
Gletscher, welche Dr. ESCHOLZ auf KOTZEBUE's Reise auf
Nordwestküste von America entdeckte [2]. Ein Gletscher
mehr als 100 Fufs Dicke, war in seiner ganzen Länge ½ l
hoch mit einer Mischung aus Lehm, Sand und Erde bede
auf welcher das üppigste Gras wuchs. Im Eise fanden sich v
Mammut-Knochen und Zähne. Die nämliche Wahrnehm
hatten am 21. Aug. 1596 die Gefährten von HEEMSKERK
Nova Zembla gemacht. Sie bestiegen einen Eisberg von
Fufs Höhe über dem Wasser, der oben mit Erde bedeckt v
wo sie an 40 Eier fanden [3].

2. Eisberge im Meere.

Montagnes de glace; *Ice-bergs.* Schwimmen
Eismassen, Eisfelder; Champs de glace; *Fiel
Floes.* Meereis, Treibeis, Polareis; Ballots
glace; *Loose ice.* Alle diese Benennungen machen nur ein
geringen Theil der besondern Namen aus, mit welchen die Se
fahrer die verschiedenen Arten von Eis bezeichnen, die ihn
oft hinderlich, bisweilen Gefahr und Verderben bringend sin
Sie lassen sich hauptsächlich unter drei Classen bringen: *Ei
felder; Treibeis; Eisberge.* Die *Erstern* bilden zusam
menhängende Ebenen von geringerer Höhe über dem Wass

1 S. Bibl. Univers. XXV. 240.

2 Entdeckungsreise in die Südsee und nach der Behringstraſs
1821. 4. S. 146.

3 „Ce banc de glace étoit couvert de terre sur le haut." Recu
des Voy. T. I. pag. 75.

aber von solcher Ausdehnung, dafs sie selbst von der obersten Höhe des Mastes sich nicht absehen läfst. Das *zweite* bezeichnet loses, offenes Eis, Trümmer eines Eisfeldes, zwischen welchen man hindurch segeln kann. *Eisberge* endlich sind Eismassen von ungeheurer Höhe und Gröfse; welche bald schwimmend, bald fest in den Polar-Meeren angetroffen werden.

Gefrieren des Meeres. Die nur von Wenigen in Zweifel gezogene Thatsache, *dafs das Meereis beim Schmelzen süfses Wasser liefere*[1], brachte verschiedene Physiker auf die Meinung, dafs das Eis nur an den Küsten, am Abhange der Inseln und Continente, und an den Mündungen der Flüsse sich bilde, weil *salziges Wasser nur salziges Eis* liefern könne[2]." Allein die Verwandlung, welche im Augenblick des Gefrierens mit dem Wasser überhaupt vor sich geht, ist zu bedeutend, als dafs es, eben so wie bei der Dampfbildung, seine Verbindung mit einem fremden Stoffe dadurch merklich gestört und verändert werden sollte; und die Anziehung, die beide Stoffe auf einander haben, kann höchstens die Trennung derselben verzögern, so dafs Salzwasser, je nach Mafsgabe seiner Dichtigkeit, bei einer gröfsern Kälte gefriert, als reines Wasser. Dann mal aber wird, wie das auch bei der Krystallisation anderer flüssigen Mischungen der Fall ist, der fremde Stoff ausgeschieden, und was gefriert, ist nur Wasser allein. Nur bei grofser Kälte, und (etwa beim künstlichen Versuche) in abgesonderten geringen Portionen, wenn die Erkältung schnell von allen Sei-

1 Für diesen Satz sprechen zahlreiche Erfahrungen aus verschiedenen Zeiten: Schon Frobisher fand (1578) 100 Meilen weit vom Lande Eis, welches geschmolzen süfses Wasser lieferte. S. Reinhold Forster's Gesch. der Schifffahrten in Norden 1748. 8. S 326. John Davis (1585) lud ein ganzes Boot voll, das ein gutes Trinkwasser gab. (Forster S. 345). Eben dieses that Weimouth im Jahre 1594. (Ebend. S. 362), späterhin noch mehrere. Unter den Neuern bediente sich dieses Hülfsmittels Cook auf seiner Reise nach dem Südpol (1773) A Voy. towards the Southpole; 3 Ed. 4. T. I. p. 37) der dafür unverdient von Sir John Pringle als der erste Erfinder desselben gepriesen wurde; und Ross. (Voy. to the Baffinsbay. p. 48.)

2 Büffon, (Hist. nat. ed. in 12. T. I. p. 313. T. II. 91). Lomonossof (Schwed. Abhandl. Bd. XXV.) und Cranz (Hist. v. Grönland T. I. und 42). In neuern Zeiten auf Versuche gestützt, Dr. Higgins (Probability of reaching the Northpole. Suppl. p. 121) und Parrot (Physik. II. S. 71 und III. 369. u. 6. Ann. LVII. 144).

ten wirkt, gefriert das Salzwasser zu einem porösen, und sichtigen Eise von grünlicher Farbe [1] und etwa 0,7 speci wicht. Das auf der Oberfläche des Meeres sich bilden ist hingegen schön, dicht und durchsichtig, gerade wie da wöhnliche reine Süßwassereis, und wie die Erfahrung g hat, frei von Salzgeschmack. Es ist hart und brüchig, springt in scharfkantige Stücke; es ist nur um $\frac{1}{30}$ leicht Seewasser in der Temperatur des Frostpunctes; in süßem ser ragt $\frac{1}{16}$ desselben über der Oberfläche empor.

Dem Gefrieren oft vorangehend, für den Seefahrer h verdrüßlich und selbst gefährlich, ist ein Phänomen, das oft auf Flüssen, seltener auf stehenden Wassern sich zeigt *Frostdampf.* Diese Art von Nebel, die den höhern Br eigen ist, scheint, wie die sichtbare Verdunstung des Wa wenn es durch künstliche Mittel erhitzt wird, aus der grö Wärme des Wassers im Verhältniß zur umgebenden Lu entstehen. Das Meer ist bei dieser Erscheinung gemeini um 10 bis 14° R. wärmer als die Luft; es entsteht daher beträchtliche und größere Verdunstung, als die Capacität Luft für die Dünste mit sich brächte, und der Wasserd wird *verdichtet.* Der dickste Frostdampf wird nur bei *heft Winde* wahrgenommen, und nimmt, bei gleicher Tempe und Feuchtigkeit der Luft mit der Bewegung des Meeres Eben so ist er auch stärker über *bewegtem*, strömendem, über stehendem Wasser. Auf dem Meere bildet er bei unr ger See eine dicke Nebelschicht von 80 bis 100 Fuß H welche sich an das Tauwerk der Schiffe und alle Hervorra gen eben so ansetzt, wie unser Reif. Er ist häufiger bei kenlosem Himmel und trockener Witterung, als bei feucl und bedecktem Himmel. Während dem er unten eine hö beschwerliche und (da er immer in Begleitung eines sta Windes erscheint) auch gefährliche Finsterniß verbreitet, kann man von der Höhe des Mars aus Schiffe in einer Entfern

---

1 Wenn Parrot (G. Ann. LVII. 146) das geringe Quantum 12 Unzen Salzwasser eine ganze Nacht hindurch einer Kälte von bis — 9° R. aussetzte, so ist dieses wohl keine *mäßige* Kälte (S. zu nennen, da sie den Gefrierpunct der Soole um mehrere Grade ü trifft, und an eine Ausscheidung des Salzes ist freilich bei eine totalen Erkältung nicht zu denken. Bei seinen übrigen Versuchen die Kälte gar — 13, — 17 und — 24° R.

von 5 bis 6 Seemeilen, und ein hohes Land auf 10 bis 15 Stunden weit erkennen[1]. Nach MITCHILL[2] muſs das Salzwasser 11½° R. wärmer seyn, als die Luft, um *sichtbare* Dämpfe auszustoſsen, da hingegen Regenwasser dazu nur einen Ueberfluſs von $\frac{5}{4}$° R. bedarf.

Eisfelder. Die Natur, auf dem Meere überall groſs in ihren Wirkungen, verfährt in der Bildung dieser Eismassen nach einem so ungeheuern Maſsstabe, daſs alle Vorstellungen, die wir vom beengten Festlande dorthin übertragen, gegen die Wirklichkeit in Nichts verschwinden. Die Eisfelder haben nach SCORESBY[3] gewöhnlich nur etwa 4 bis 6 Fuſs Höhe über dem Wasser und gegen 20 Fuſs Tiefe unter demselben, sind aber manchmal gegen 100 nautische Meilen (25 deutsche) lang und 50 breit.[4]. Zuweilen sind sie am Lande fest; häufig aber treiben sie in freier See herum. Ungeheure Eisfelder machten seit Jahrhunderten die Ostküste von Grönland unzugänglich. Nach SCORESBY kommen sie von Norden her, und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Pole. Die Anhängung an das Land oder der Schutz der Küste ist, wie eben dieser Schriftsteller behauptet, zum Gefrieren der See gar nicht nothwendig; er sah das Eis auf 20 Stunden weit von Spitzbergen sich bilden. Selbst die Wellen vermögen sein Entstehen nicht zu hindern. Erst erzeugen sich kleine Krystalle, deren Menge das Wasser in eine Art *Schlamm* zu verwandeln scheint, als wenn es mit Schnee vermischt wäre. Gleich Oel macht dieses die krause Fläche des Wassers glatt. Die Krystalle vereinigen sich dann zu Scheiben, die aber der beständigen Bewegung wegen nicht über 3 Zolle Durchmesser erhalten können; allmälig werden diese dicker, und in eben dem Maſse können sie auch zu ausgedehnten Flächen sich vereinigen. Reibung und Wellenschlag rundet sie ab, und giebt ihnen einen aufstehenden scharfen Rand; daher ihnen der Witz der Seeleute der Namen *Pfann-*

1 Siehe hierüber Scoresby Voy. to the Northern Whalefishery. Deutsch. Übers. S. 53.

2 Medical Repository. Vol. IV. übers. in Albers american. Ann. d. Arzneikunde, Naturgesch. Chemie und Physik. Bremen 1802. 8. B. I. S. 105. G. Ann. XI. 74.

3 Ann. de Ch. et Phys. 1817 und G. Ann. LXII. p. 4.

4 Eben diese Gröſse giebt auch CRANZ an; Hist. v. Grönland. T. I. S. 42.

kuchen (pancakes) ertheilt hat. Die gröſsern dieser *I*
cakes haben jedoch über 1 Fuſs Dicke und mehrere K
Umfang.

Ist die See ruhig, so bildet sich eine zusammenhäng
Eisdecke, die von unten her immer dicker wird. Währen
Stunden scharfen Frostes kann die Eisdecke 2 bis 3 Zoll d
und in weniger als 48 Stunden stark genug werden, einen M
zu tragen. In geschützten Lagen kann ein solches Eis in
von einem Monat 1 Fuſs dick werden, woraus sich abnel
läſst, daſs in einer Reihe von Jahren die dicksten Eisfelder
nur auf diesem Wege sich bilden können. Sie werden
auch durch Zuwachs von Oben vergröſsert. Während der
Monate anhaltenden Frostes jener Gegenden fällt 2 bis 3
hoch Schnee, welcher dann beim Thauwetter im Juni und
mit Schneewasser durchzogen, im September wieder zufr
und so wird im Laufe der Jahre eine Masse gebildet, deren A
dehnung und Höhe allen Elementen trotzen könnte, wenn
Natur nicht durch einfache und stillwirkende Mittel sich i
zu entledigen wüſste.

Einige Eisfelder sind so eben, ohne Spalten oder Höh
daſs ein Wagen ohne Anstoſs viele Meilen weit gerade aus i
sie hinfahren könnte. Doch finden sich auf den meisten oft
trächtliche *Erhöhungen* (*Hummocks*), die entweder von ül
geschobenen groſsen Eisstücken oder zusammengeweheten Sch
herrühren, und durch wunderbare Gestalten und den Glanz
res durchscheinenden Grüns das Auge ergötzen.

Treibeis. Jene ungeheuren Eismassen, deren Anhäuf
eine immer mehr sich ausbreitende Erkältung hervorbrin
müſste, werden durch südwestliche Strömungen den wärm
Klimaten zugeführt, die selbst bei Windstillen und gegen
Wind so wirksam sind, daſs jene Massen in Monatsfrist
100 Seemeilen (25 geographische) fortschwimmen, was eine G
schwindigkeit von 2¼ Fuſs in der Secunde giebt, groſs gen
um mit einer so furchtbaren Last multiplicirt, eine unwiderst
liche Kraft zu bilden. Stürme und Wellenschlag zerbrecl

---

1 Barenz fand auf seiner dritten Reise nach Norden 1595, d
das Meer schon im September in einer Nacht zwei Finger dick f
Recueil des Voy. qui ont servi à l'établissement de la Comp. des In
Orient. T. I. p. 82.

sie in kleinere Eisfelder und Treibeis, und gewähren der schmelzenden Kraft der wärmern Gewässer bessern Zugang. Die im hohen Norden entstandene Leere der Meeres-Oberfläche wird bald wieder mit neuen Erzeugnissen des Frostes ausgefüllt; und es kommen an die Stelle der zerstörten Eisfelder neue herab, zuweilen weifse Bären, die einzigen Bewohner jener erstarrten Gegenden, entführend.

Winde, Ungleichheit der Strömung und der Anstofs anderer Massen bringen nicht selten den Eisfeldern eine *drehende* Bewegung bei, vermittelst welcher ihr Stand einen Raum von mehreren Seemeilen in einer Stunde (5 bis 8 Fufs in der Secunde) durchläuft. Kömmt ein solches Eisfeld mit einem ruhenden, oder gar mit einem in Berührung, das nach entgegengesetzter Richtung sich dreht, so giebt das einen Stofs, der bei Massen von 30 Quadratseemeilen Oberfläche und 13 Fufs Dicke, also etwa 200000 Centner Gewicht, ein fürchterliches Schauspiel darbietet. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zermalmt; manchmal zertrümmern sich beide, und nicht selten schieben sich dabei Stücke von ungeheurer Gröfse so über einander, dafs sie 20 bis 30 Fufs über dem Wasser hinausragen. Wehe dem Schiffe, das etwa im Nebel oder bei Windstillen zwischen solche Eisfelder geräth; es wird zerquetscht, oder wenigstens sehr beschädigt, zuweilen auch auf das Eis hinaufgeschoben; Unglücksfälle dieser Art sind gar nichts seltenes[1]. Die Wallfischfänger sind genöthigt, zur Verfolgung ihrer Beute sich zwischen das Treibeis zu wagen; oft auch bietet ein enger Kanal zwischen schwimmenden Eismassen den einzig möglichen, aber zweifelhaften Ausweg dar, um einer gänzlichen Einschliefsung des Schiffes, die unfehlbar zum Ueberwintern nöthigen würde, zu entgehen.

Eisberge. Diese sind, wenn auch an Volumen und Ausdehnung geringer als die Eisfelder und manche treibende Eismasse dieser Art, durch ihre Aufthürmung auffallender und gewähren einen erstaunenswürdigen, erhabenen Anblick. Ihre beträchtliche Erhebung über dem Wasser läfst auf eine etwa

1 Scoresby im J. 1804 und 1813. (Account of the arctic regions. Ann. LXII. 16) Capt. Ross im J. 1818. Voy. to the Baffinsbay. p. und 76. Im J. 1777 gingen 5 holländische Schiffe auf diese Weise

8 oder 9 mal grösere Einsenkung in die Tiefe schliesen dafs ihre ganze Höhe zuweilen bis auf tausend Fufs gehen k Sie scheinen in der Nordsee weniger zahlreich als in der finsbay zu seyn, was auf ihre Entstehung am Lande hinzu sen scheint. Der gröfste Eisberg, den Scoresby an der K Grönlands sah, hatte etwa 3000 Fufs im Umfange, eine eckige Gestalt, eine regelmäfsige Oberfläche, die etwa 20 über den Wasserspiegel erhoben war, und bestand aus der d testen Art von Eis; er mochte noch etwa 160 Fufs unter die V serfläche herabgehen, und ungefähr 2 Millionen Tonnen (zu 20 Centner) wiegen. In der Davisstrafse hingegen fa sich zuweilen Massen von 12000 Fufs Länge, 4000 Fufs mit Berggipfeln und Hörnern von mehr als 100 Fufs Höhe, also auf eine Tiefe von 500 Fufs unter der Wasserfläche erstrecken mufste, ja selbst ebene Massen von 180000 Q dratfufs Oberfläche und 150 Fufs sichtbarer Höhe, welche in bis 100 Klafter tiefem Wasser auf den Grund liefen und d Gewicht mehr als 2000 Millionen Tonnen betragen mu Auch Weddell auf seiner Reise nach dem Südpole in de 1822, 23 und 24 traf auf Eismassen von 2 Meilen Länge und Fufs Höhe über der Wasserfläche. Ihre Menge ist nicht w ger erstaunenswürdig, als ihre Höhe. Cook fand am 23. 1773 im südlichen Eismeere 186 solche Eismassen um sich deren keine geringer als das Schiff war [1], und Rofs zählte 10. Juny 1818 in der Baffinsbay in 70° N. Br. nur auf der ei Seite des Horizonts an 700 Eisberge [2].

Von beiden Polen her werden diese Eismassen, Eisfel sowohl als Eisberge, der gemäfsigten Zone zugeführt. In südlicher Breite am 12. Dec. 1772 traf Cook auf einen schw menden Eisberg von 2 Seemeilen im Umfange und 60 Fufs H Dennoch brach sich die stürmische See über ihn hin [3]. F zier begegnete am 13. März 1714 in 58° südl. Breite und W. Länge einer Eismasse von ein paar tausend Fufs Länge wenigstens 200 Fufs Höhe [4]. Im nördlichen Atlantischen Me

1 Forster's Bemerk. auf der Reise um d. Welt gesammelt S. 6
2 Voy. pag. 48.
3 Voy. to the South pole. T. I. p. 23.
4 plus de trois encablures de long. Relation du Voy. de la du Sud. aux côtes du Chily et du Perou. Paris 1716. 4. pag. 260.

sah Capt. BEAUFORT Eisberge in 46° N. Br.; Lt. PARRY trieb noch am 4. Oct. in 44° Breite südlich von Neufundland 3 Tage in Grönländischem Treibeise, und das Packetboot von Halifax traf mehrere ausgedehnte Eisinseln in 42° Breite, deren einige 200 bis 250 Fuſs Höhe zu haben schienen. Am 19. Januar 1818 wurde die Brigg Anna bei ihrer Abfahrt von Neufundland (im 47° N. B. ganz vom Treibeise besetzt, so daſs selbst von der Spitze des Mastes keine Oeffnung zu erblicken war. Sie trieb mit dem Eise 15 Tage lang 60 Seemeilen in südlicher Richtung; die Eismassen wurden nun mächtiger, indem sie etwa 14 Fuſs aus dem Wasser hervorragten; und unter ihnen befanden sich mehr als 20 höhere Eisberge. Erst in 44° 3' N. B. und über 300 Meilen östlich vom Lande fand sich endlich am 17. Febr. eine einzige Oeffnung in der unabsehbaren Umkreisung von Eise, durch die man der 29tägigen gefahrvollen Gefangenschaft entrinnen konnte [1].

Die Seefahrer sprechen mit Lebhaftigkeit von den seltsamen Gestalten, unter welchen diese ungeheuren schwimmenden Eisstücke zuweilen als gigantische Werke der Kunst sich darstellen. Kolossale Abbildungen menschlicher Figuren, Eisbären auf 30 Fuſs hohen Fuſsgestellen; Löwenköpfe, Büsten, antike Tische, hohe Thore und Eishallen, Thürme und Pyramiden erscheinen hie und da mit solcher Bestimmtheit, daſs es keineswegs einer fruchtbaren Einbildungskraft bedarf, um sie dafür zu erkennen [2].

Allein, während dem das Auge an diesen kolossalen Spielen der Natur sich ergötzt, wird das Gemüth von Schauer durchdrungen, wenn man die Gefahr bedenkt, welche die Nähe so ungeheurer zerbrechlicher Massen, die nur auf dem Fundament des trüglichen Gewässers ruhen, dem Seefahrer bringen kann. Ein Hinderniſs, das sie beim Forttreiben unter dem Wasser

---

1 Alle diese Beispiele nebst noch Andern finden sich im Quarterly Rewiew in einer Recension von Burney's Abhandlung über die Geographie des Nordöstlichen Asiens in den Philos. Trans. for 1818, die den Beförderer der neuesten Nördlichen Expeditionen, Barrow, zum Verfasser hat. Versinnlichende Zeichnungen von Eisbergen finden sich in den Kupfern zu Ross Reise, auch zu Scoresby's angegebenen Werken. Vergl. Manby Journal of a Voyage to Greenland. 2. ed. London 1823. 8.

2 Scoresby Tageb. und Reise auf den Wallfischfang. S. 107.

antreffen, der Anstofs an einem andern Eisgebirge, das brechen eines überhangenden Theils reicht hin, um sie aus Gleichgewichte zu bringen, und mit donnerndem Getöse zustürzen. Schon viele Schiffe sind, durch abstürzende Eismassen zerschmettert, und die Boote vom Strudel in den Grund rissen worden [1]. Zuweilen kann irgend eine Erschütterung, Einhauen mit der Axt, ein solches Gebirge zerspalten einstürzen machen [2].

Schon oben wurde aus der Seltenheit der Eisberge an Grönländischen Küste und ihrer grofsen Anzahl in der Baff bay auf ihre Abstammung von der Küste geschlossen. N wahrscheinlicher wird dieses durch den Umstand, dafs n wie auf den Gletschern des Festlandes, auf den schwimmen Eismassen Sand und Steine antraf. Schon Lucas Fox auf s ner Reise nach der Hudsonsbay 1631, sah auf einem Eisbe einen Felsblock liegen, den er auf 120 Centner an Gewi schätzte [3]. Aehnliches berichten auch spätere Seefahrer [4]. Hi durch gewinnt die Vermuthung, dafs die eigentlichen Eisb wirkliche, aus den Quer-Thälern der 2000 bis 4000 F hen Gebirge hervorgetriebene, Gletschermassen, mithin ni Meereis, wie die Eisfelder, sondern ein Erzeugnifs von Sch und Regenwasser seyen, eine grofse Wahrscheinlichkeit. D äufsern sich Scoresby [5] und auch R. Forster [6] dahin, d der gröfsere Theil der Eisberge in den geschützten Buchten Küstenländer aus sogenanntem *Bay-Eis* gebildet, dann du Regen und Schnee vergröfsert, nach Jahren hinausgetrieb und durch Stürme über einander geschichtet, zu so hohen M sen aufgethürmt werden. Scoresby glaubt, dafs so wie in d

---

1 So das holländische Schiff Wilhelmine im J. 1777 S. auch F ster's Bemerk. auf s. Reise um die Welt S. 64. u. s. Gesch. der Schifffa ten im Norden. S. 365.

2 Scoresby a. a. O. G. Ann. LXII. 25. und dasjenige was R S. 78. s. R. erzählt. Cranz Hist. v. Grönland I. 35.

3 R. Forster in einem Briefe an Höpfner, den Herausgeber Magazins f. d. Naturkunde Helvetiens. T. II. 276.

4 Auch Weddell auf s. Reise nach dem Südpol in den J. 1822 24. fand in 68° südl. Br. eine Eisinsel, von welcher ein Theil r schwarzer Erde bedeckt war, so dafs man sie anfänglich für einen F sen hielt. Bibl. univ. XXXI. 200.

5 A. a. O. S. 34.

6 Gesch. d. Schifffahrten im Norden S. 455.

zahllosen Buchten der Baffinsbay, so auch an der Ostküste von Spitzbergen der Stammort dieser jährlich in so ungeheurer Menge nach Süden geförderter Eisbildungen sey, und daſs wahrscheinlich nahe am Pole ein Festland von Eisbergen sich befinde, dessen Kern vielleicht so alt als der Erdball selbst ist, und das sich alljährlich vergröſsert [1].

Der Eisblink; *Ice-blink.*

So oft man sich einem gröſsern oder kleinern Eisfelde nähert, bemerkt man bei ziemlich wolkenlosem Horizonte, oft auch sogar bei dichtem Gewölke, einen Streif von glänzend weiſser Farbe am Horizonte. Dieses Eisblinken ist der sichere Verkündiger herannahender Eisfelder. Die, zumal bei hellem Wetter meist sehr starke Strahlenbrechung scheint hierbei eine wesentliche Rolle zu spielen. Unter recht günstigen Umständen stellt der Eisblink dem Auge eine vollständige Charte von dem Eise und dem darin vorhandenen offenen Wasser auf 20 bis 30 See-Meilen rund umher dar, so daſs der Kenner füglich die Gestalt und muthmaſsliche Gröſse aller gröſsern und kleinern Eisfelder innerhalb dieser Grenze bestimmen, und dichtes oder lockeres Treibeis an dem dunklern und weniger gelben Schein unterscheiden kann, während jede Wasserader und jeder See durch ein tiefes Blau oder einen schwarzblauen Fleck [2] mitten im Eisblink das offenere Wasser zu erkennen giebt [3]. Ein Eisfeld bringt den hellsten Eisblink mit einem Anstrich von Gelb hervor; Treibeis von groſser Ausdehnung giebt sich durch ein reineres Weiſs, und neu entstandenes Eis durch ein graulichtes Licht zu erkennen. Auch Land, welches mit Schnee bedeckt

---

1 Vor etwa 20 Jahren wurde in Folge von *Peron's* voreiliger Annahme, daſs *die Tiefe des Meeres mit ewigem Eise bedeckt sey*, die Entstehung der Eisberge gar einfach mit dem Ausspruche erklärt: „Es sind Eismassen, die sich vom Boden des Meeres abgelöst haben, und zur Oberfläche empor geschwommen sind." Heutzutage, da man uns so eilfertig aus der, mit der Tiefe zunehmenden, Erwärmung des *äuſsern* Theils der Erdrinde, uns wieder an die alte Lehre vom Centralfeuer verwiesen hat, dürfte diese Hypothese von ihren Urhebern schwerlich wieder anerkannt werden. S. den Bericht üb. Peron's Reise im Journ. de Phys. T. LIX. 361 u. G. Ann. XIX. 445. und Leop. von Buch's Bemerkungen hierüber. Ebend. T. XX. 341.

2 A Water-sky nach Parry.

3 S. Scoresbys Beochtung v. 7. Juny. 1822. Tagebuch. S. 104.

ist, verursacht einen Eisblink, der jedoch gelber erschein der von Eisfeldern. Die ganze Erscheinung ist wahrscheir das Product einer ungewöhnlichen Strahlenbrechung, we durch die verschiedene Temperatur der über dem Schnee den Wasserflächen befindlichen Luftschichten hervorgebr wird, und die bei hellem Wetter in den Polargegenden so l fig vorkommt.

3. Eisgrotten, Eishöhlen; glacières naturel

Natürliche Höhlungen in den Gebirgen, in welchen Eis sich das ganze Jahr hindurch erhält. Sie befinden sich meiniglich in Kalkgebirgen und scheinen folgende Eigensc ten als Bedingungen dieser Eiskälte zu enthalten: 1. Eine h Lage, 2. Eine beträchtliche Abtiefnng im Innern des Ge ges. 3. Abwesenheit alles Luftzuges im Innern. 4. Sch gegen warme und feuchte Winde; Oeffnung der Höhle n Nord und Ost. Die erste dieser Bedingungen, die allen, mit A nahme der Höhle von Besançon, bisher bekannten Eisgro der gemäfsigten Zone gemein ist, giebt uns die Hauptursa der *Eisbildung* in diesen Höhlen an die Hand, nämlich e geringe Erhebung der mittleren Jahreswärme über den N punct. In Folge derselben wird in der kühleren Hälfte Jahres mehr Eis gebildet als die wärmere Zeit zu schmel vermag, und die Frostkälte ist vorherrschend. Die zweite l dingung hingegen ist zu *Erhaltung* des gebildeten Eises un läfslich. Da nämlich warme Luftströme nur aufwärts steig die kalten sich herabsenken, so bleibt die kalte Luft, wel zur Winterszeit in die Höhle drang, immer in der Tiefe Einsenkung, während dem die warmen Luftströme des Somm nicht hinabsteigen können. *Die Eishöhle von Besançon*[1] eine Senkung von 31 Toisen vom Eingange bis zum Eise, dort von einem Dache von 24 Toisen Dicke bedeckt ist. Co SIGNY fand daselbst im August und October 1743 das Therm meter im Grunde der Höhle nur $\frac{1}{2}$° R. über Null. Bei ein andern Besuche den 22. April 1745 war es am Morgen um 5 U auf dem Eispuncte; um Mittag nur 1° über demselben. I Eishöhle von *St. George*[2] 281 Toisen über dem Genfersee

1 De Lüc in den Ann. de Chim. XXI. 215. und Pictet der Bibl. Univ. XX. 263.

2 Ebend. S. 121.

in ziemlich jähem Absturze[1] 25 Fuſs tief. Die Eismasse hatte, als Pictet am 7. Juli 1822 sie besuchte, 75 Fuſs Länge, bei einer mittleren Breite von 40 Fuſs; sie ist mit steilen Wänden umgeben, die auf eine merkliche Tiefe schlieſsen lassen. In der Mitte der Höhle, 2 Fuſs über dem Eise, stand das Thermometer auf + 1° R. In der Eishöhle auf dem Berge Vergi[2], 4?? Toisen über dem Genfersee, ist die Einsenkung weniger tief, doch ist der Boden immer hinabwärts geneigt; die horizontale Eismasse hat 70 F. Breite und 30 Fuſs Länge. Am 17. Juli 1822 fand Pictet 1 Fuſs über dem Eise die Temperatur + 1°,2 R. Die Eisgrotte von *Fondeurle*[3] ist 200 Fuſs tief. Das sogenannte *Schafloch* am Rothhorn im Canton Bern[4], 3700 Fuſs über dem Thunersee ist ebenfalls ziemlich steil absteigend. Dufour fand im obern Theile desselben 1 Fuſs über dem Boden die Temperatur + 2¼° R. bei einer äuſsern Luftwärme von 18 bis 20°. In diesen Höhlen, deren Eingang meistens beträchtlich verengt ist, bemerkt man *keine Spur von Luftzug*[5]. Ihre Tiefe ist mit compactem Eise ausgefüllt; und nur am Eingange der weniger eingesenkten Höhle auf Vergi befand sich einmal etwa 2 Fuſs unterhalb desselben einiges Wasser, das aber 0° Temperatur hatte. Die Oeffnungen aller dieser Höhlen sind den kältesten und trockensten Winden ausgesetzt, indem sie in der Regel gegen Nord oder Ost ausgehen[6]. Daſs übrigens die Erkältung nur von atmosphärischen Einwirkungen, nicht von einer innern Kälte des Gebirges herrühre, erweist sich auch durch die Temperatur einer Quelle die nur auf Schuſsweite von der Grotte von St. George aus einer senkrechten Felswand herausspringt. Pictet fand sie + 8°,5 R. was der mittlern Wärme des Berges in jener Höhe entspricht. Pictet[7] leitet die Eisbildung in diesen Grotten von Luftströmen her, welche durch Verdunstung erkältet werden; und bringt diese Erscheinung mit den Kellern am Monte testaceo bei Rom, denen auf Ischia bei St. Marino, bei

---

1 Man steigt auf Leitern hinunter.

2 Pictet Bibl. Univ. XX. 272. Deluc a. a. O. S. 123.

3 Ebend. 125.

4 Ebend. XXI. 113.

5 Siehe das bestimmtere Zeugniſs von Colladon u. Pictet. Ann. Ch. et Phys. XXI. 122. 124.

6 De Lüc a. a. O. S. 120. u. Dufour a. a. O. S. 115.

7 Bibl. Univ. XX. 278.

Terni, bei Chiavenna, in Hergiswyl und bei Lugano in V
bindung, in welchen aus Löchern im Berge eine Luft her
strömt, deren Temperatur in den südlichern Italienischen
genden 5½ bis 6° R., in denen von Lugano und Hergiswy
der Schweiz 3 bis 4° R. ist[1]. Er findet es sogar wahrschein
dafs die Eisbildung in den Eishöhlen im Sommer stärker sey
im Winter, weil in der wärmern Jahreszeit wegen der gröſ
Ungleichheit der Temperaturen jene Luftströme lebhafter se
und vergleicht ihr Auf- und Niedersteigen durch (voraus
setzte) verticale Höhlungen und Spalten im Innern des Be
mit dem Luftstrome, der im Sommer im Schacht eines Be
werkes niedergehend, und beim Stollen ausströmend ist, v
die kühlere Luftsäule im Schachte schwerer ist als die äuſs
da hingegen im Winter das Umgekehrte statt findet. Diese v
ticalen Luftströme nun, indem sie durch die feuchten Spa
des Berges ziehen, werden durch die Verdunstung jener Feu
tigkeit so sehr erkältet, dafs sie nach Pictet im Innern
Berges sogar Eis erzeugen können. Allein Saussüre, welcl
wir die sämmtlichen Beobachtungen über die Temperatur je
Bergkeller zu verdanken haben, hat durch Versuche geze
dafs jene Verdunstungskälte nur etwa 3° R. betrage. Sie rei
daher gerade hin, um die Erniedrigung jener Luftströme u
die mittlere Wärme des Ortes zu erklären, aber nicht um Fr
kälte hervorzubringen, oder gar jene 60° Wärme, deren E
fernung dem Gefrieren vorangehen mufs, zu absorbiren. Eige
liche kalte Luftströme, die aus Löchern aus dem Berge hera
kommen, fand Pictet nur in der Nähe der Eisgrotte auf d
Brezon; jedoch nicht in der Höhle selbst. Pictet's Behauptu
dafs das Eis in diesen Höhlen mehr im Sommer als im Wi
sich bilde, verdient allerdings, so paradox sie auch klin
mag, die Beobachtung der Naturforscher, da sie mit der all
meinern Meinung der Landleute in der Umgegend übereinstim
wenigstens könnte dieses bei der einen oder andern Höhle
Fall seyn. Die Beobachtung einiger Bauern, welche die E
höhle von Vergi gegen Ende Octobers, Novembers und I
cembers besuchten, und des Eises immer weniger, im Dece
ber sogar Wasser statt Eis fanden, scheint dieses zu bestätige

1 Saussüre Voy. dans les Alpes. T. II. §. 1404—1415.

2 Bibl. Univ. XXV. 243.

Doch dürfte es zu gewagt seyn, das Nämliche von allen diesen Grotten zu behaupten. Fortgesetzte Beobachtungen, selbst nur wie De-Luc anräth, Versuche an einer wohl eingerichteten künstlichen Eisgrube würden uns über diesen Gegenstand zu Aufschlüssen führen, die wir auf dem Wege der zufälligen Wahrnehmung nur langsam zu erhalten hoffen können.

4. Eisgruben; glacières artificielles; *Ice-house.*

Ein verschlossener Ort zur Aufbewahrung des Eises. Die Bedingungen, welche die Entstehung natürlicher Eisgruben begünstigen, sind auch gerade diejenigen, welche bei künstlichen Anlagen dieser Art in Acht genommen werden müssen. Eine erhöhete Lage, z. B. in einem Hügel, Trockenheit, Ausschliefsung alles Luftzuges, Vertiefung im Innern; verlängerter Zugang, Krümmung desselben und Verschliefsung durch zwei oder mehrere Thüren; Abzug für das Schmelzwasser, endlich Bekleidung des Bodens und der Wände mit schlechten Wärmeleitern, mit Stroh, Bast, Schilf. Man füllt diese Gruben des Winters mit Eis oder Schnee, den man in denselben feststampft. Sie dienen nicht nur zur Erhaltung eines schätzbaren Erfrischungsmittels, sondern sie sind auch zur Aufbewahrung von Speisen in der Haushaltung von wesentlichem Nutzen. Der Gebrauch, das Eis im Boden aufzubewahren, ist übrigens schon sehr alt.

D. Eisbildung bei einer äufsern Temperatur über Null.

Künstliche Eisbereitung. 1. Durch Ausstrahlung der Wärme.

Ein Beispiel dieser Art von Eisbereitung findet sich in dem Verfahren, welches in Bengalen, wo es sonst niemals friert, angewandt wird, um Eis zu erzeugen. Es haben zwar berühmte Physiker der neuesten Zeit Thomson, Young, Davy, Leslie u. m. jene Eisbildung einer Verdunstungskälte zugeschrieben, allein Wells[1] hat gezeigt, dafs sie von den nämlichen Ursachen abhänge, durch welche die Erscheinung des Thauens begünstigt wird. Das Verfahren selbst, so wie es von einem dortigen Eisfabricanten Sir Robert Barker[2], und später von Wil-

1 Essay on Dew. S. 261.
2 Philos. Trans. Nr. 65.

liams[1] beschrieben wurde, besteht kürzlich in Folgend‹ Auf einem offenen, ebenen Felde von etwa vier Morgen L des werden quadratische Plätze von 4 bis 5 Fuſs Seite, e 1 Fuſs tief ausgegraben und mit dürrem Zuckerrohre oder ‹ Stengeln von Indischem Korn so hoch ausgefüllt, daſs nur kleiner Erdwall von etwa 4 Zoll Höhe übrig bleibt. Auf d ses Lager werden reihenweise kleine unglasirte irdene Beck von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke und $\frac{1}{4}$ Zoll Tiefe hingelegt, und mit *geko tem weichem* Wasser vollgefüllt[2]. Am frühen Morgen wird ‹ Eis eingesammelt, und in die Eisgruben gebracht[3]. Die I schreibung von Williams enthält noch folgende thermomet sche Angaben. Am Morgen zwischen 5 und 6 Uhr zeigte e das Strohlager zwischen den Becken berührendes, Thermome nie weniger als 35° F. (+ 1°, 3 R.) und es fand sich sogar I in den Becken, wenn es auf 42° F. (+ 4°, 5 R.) stand. E anderes Thermometer 5½ Fuſs über dem Boden aufgehängt, w *gemeiniglich* 4° F. (1°, 8 R.) höher, als dieses. Die Eisbildu ging also selbst dann noch vor sich, wenn die Temperatur der Lı + 6, 2 R. betrug. Barker bemerkt, daſs die *hellsten u stillsten* Nächte diejenigen seyen, die am meisten Eis liefer daſs hingegen Wolken und wechselnde Winde unverkennba Vorzeichen einer geringen Eisproduction seyen; eben dieses b zeugt auch Williams, mit dem bestimmten Zusatze, daſs *Wi die Eisbildung gänzlich verhindere.* In diesem letztern Un stande liegt das sicherste Kennzeichen, daſs *Verdunstungskäl* hier nicht im Spiele sey, weil Luftzug das entscheidenste B förderungsmittel der Verdunstung ist. Auch ist nach dem Ob gen (litt. a.) eine kleine Bewegung des Wassers dem Gefriere günstiger, als Ruhe; dennoch bildet sich bei stiller Luft d Eis eher, weil der Wind dem durch Ausstrahlung erkältete Wasser die Wärme der umgebenden Luft zuführt. Dies Letzte soll auch durch die eingesenkte Lage jener Strohlager verhinde werden, da bekanntlich in vertieften kesselförmigen Plätzen Tha

1 Philos. Trans. Nr. 83.

2 Nach Barker; nach Williams mit *ungekochtem Pumpwasse* S. oben unter *a.*

3 Die Ausdehnung solcher Anstalten läſst sich daraus beurthei len, daſs nach Williams 300 Personen bei einer derselben angestell waren.

und Reif stärker ansetzen, als an offenen Stellen. Ueberdem beträgt die Verdunstungskälte nach SAUSSURE bei 18° R. Wärme nur 3° R.[1], sie ist also lange nicht vermögend, eine Temperaturerniedrigung von 6° R. zu bewirken. Wohl aber vermag dieses die *Ausstrahlung*. WILSON fand in einer hellen und windstillen Nacht die Oberfläche des Schnees 16° F. (oder 7° R.) kälter als die Luft nur 2 Fuſs über demselben[2], und WELLS fand oft die Grasfläche um 12 bis 14° F. (5°,4 . . 6°,3 R.) kälter als die umgebende Luft. Diese Data mögen hier an die Stelle der noch mangelnden Versuche über die Wärmestrahlung des Wassers treten, die wir aus keiner Ursache geringer anzunehmen haben, als die des Schnees, oder des Rasens. Daſs bei der erwähnten Eisbildung keine Verdunstung, sondern im Gegentheil noch die durch Strahlung bewirkte Thauabsetzung statt finde, zeigt ein Versuch von WELLS, der in England in kühlen Nächten vom Mai und October die Operation der Indier nachahmte. Er setzte in einer hellen Nacht zwei Untertassen mit 2 Unzen Wasser jede, auf einem Lager von Stroh dem freien Himmel aus; am Morgen waren beide gefroren, und der eine Eiskuchen hatte 2½, der andere 3 Gran an Gewicht *gewonnen*. Das Gras war in jener Nacht 9½ F. (4° R.) und das Stroh 12° F. (5⅓° R.) kälter als die Luft. Auf dieser Erkältung durch Wärme-Ausstrahlung beruht auch vornehmlich die Erfahrung der Anwohner an Seen und Flüssen, daſs diese Gewässer auch bei groſser und anhaltender Kälte oft lange nicht gefrieren, sobald nur die Nächte *bewölkt* sind.

2. Eisbildung durch Verdunstung.

Daſs Verdunstung Kälte erzeuge, war zwar längst bekannt, und dieses Mittel wurde zur Abkühlung von Getränken durch Umwickelung der Gefäſse mit befeuchteten Lappen benutzt. Allein man war (aus Gründen, die so eben angeführt worden sind) nicht im Stande, durch Verdunstung ein wirkliches Gefrieren hervorzubringen. Dieses ist erst seit wenigen Jahren durch LESLIE in Edinburg[3] in solchem Maſse bewerkstelligt worden, daſs sein Verfahren hinreicht, mitten im Sommer Quecksilber zum Gefrieren zu

---

1 Voy. aux Alpes. T. II. S. 219. Nach Versuchen von WELLS bei 19° R. ebenfalls 6—7° F. (2°,8 R.) und bei + 3°,5 R. Wärme nur noch 0°,7 R. On Dew. S. 268.

2 Essay on Dew. S. 269.

3 Ann. de Chim. 1811. G. Ann. XLIII. 373.

bringen. Das Ganze beruht auf der Benutzung zweier M
eine schnelle und immer erneuerte Verdunstung der Flüssi
hervorzurufen. Diese sind: eine die Feuchtigkeit sehr an
hende *Substanz*, und *schnelle Verdünnung der Luft*.
Erstere, indem sie die eben entwickelten Wasserdämpfe ab
birt, giebt neuen Entwickelungen Raum, und die Letztere
schleunigt die Dampfbildung durch Verminderung des L
druckes. Unter den verschiedenen Stoffen, welche die Fe
tigkeit absorbiren, giebt Leslie der *Schwefelsäure* den Vor
Sie wirkt nach ihm stärker, als der salzsaure Kalk, und
Kraft bleibt sich so ziemlich gleich, bis sie ein dem ihr
gleiches Volumen Wasser in sich gesogen hat. Durch A
kochen läſst sie sich leicht wieder von dem aufgenomme
Wasser befreien. Das Verfahren ist folgendes: Man nim
einen Recipienten mit tragbarem Teller, am besten von
Form einer Halbkugel; setzt unter diesen in einem breiten
flachen Gefäſse die concentrirte Säure; 2 oder 3 Zoll höher
findet sich auf Glasfüſsen eine Schale mit reinem, gekocht
Wasser. Nun wird rasch ausgepumpt, und nach einer et
100maligen Verdünnung beginnt unter Entwickelung zahlreic
Luftblasen das Gefrieren. Nachher reicht eine 10 bis 20fa
Verdünnung hin, das Wasser gefroren zu erhalten. Das
verdunstet dann allmälig, während dem die Säure eine ho
Temperatur behält, so daſs ein Eisstück von 1 Zoll Dicke
diese Art in 5 bis 6 Tagen verschwindet. Die Wirkung wird b
deutend verstärkt, wenn man die erste Glasglocke mit ei
zweiten bedeckt, um den Einfluſs der äuſsern Wärme abzuh
Fig. ten. Noch auffallender wird der Versuch, wenn man ein
19. Recipienten nimmt, durch dessen Obertheil ein Stängelch
luftdicht geschoben werden kann. Man hält die Schale n
dem Wasser während des Auspumpens bedeckt, hebt da
plötzlich den Deckel auf, so daſs das Wasser mit dem verdünnt
Luftraume in Berührung kommt. In wenigen Minuten sieht m
die Eisnadeln sich bilden, und bald verwandelt sich das Gan
in eine feste Masse von sehr durchsichtigem Eise. Nimmt m
Eis und kältende Mischungen zu Hülfe, so läſst sich selbst i
Sommer das Quecksilber zum Gefrieren bringen. Leslie h
einen vollständigen Apparat angegeben, mit welchem unter me
rern Glasglocken, die auf einem mit Luftpumpe und Leitung
röhren versehenen Tische sich befinden, Eis gebildet werd

kann[1]. Nach CLEMENT und DESORMES[2] ist LESLIE's Entdeckung von grofsem Nutzen zur schneller Austrocknung solcher Stoffe, welche keine Erhitzung vertragen, wie auch animalischer und vegetabilischer Substanzen, die man lange aufzubewahren wünscht.

Dafs auch eine *relative* Verdünnung, oder die Ausdehnung stark verdichteter Luft *Kälte* hervorbringe, ergiebt sich aus der Eisbildung, welche bei der Höll'schen Maschine im Schemnitz (einer Art *Herons Brunnen*) statt findet, wenn man den Hahn des untern Compressionsgefäfses öffnet. Die etwa bis aufs fünffache comprimirte Luft in diesem Kessel strömt dann mit grofsem Geräusche und Heftigkeit heraus, und wenn man vor die Oeffnung einen festen Körper hinhält, so setzen sich an demselben die condensirten Wasserdämpfe in Gestalt von weifsen und dichten Eiskörnern an; das Phänomen hat in allen Jahreszeiten statt; und die umgebende Temperatur der Grube ist 10 bis 12° R. Die Erscheinung erklärt sich sehr einfach dadurch, dafs die ausströmende Luft bei ihrer Verdichtung eines Theils ihrer Wärme beraubt worden ist, und nun, da der äufsere Druck aufhört, den zu ihrer Expansion erforderlichen Wärmestoff aus der umgebenden Luft oder einem dargehaltenen festen Körper an sich reifst, und so eine plötzliche locale Erkältung erzeugt, welche die mitgebrachten oder in der umgebenden Luft vorhandenen Wasserdämpfe verdichtet und gefrieren macht[3]. *H.*

Eisen.

Ferrum, Mars; fer; *Iron.* Die Natur liefert dieses nützlichste Metall reichlich theils im geschwefelten, theils im oxydirten Zustande, und im letzten Falle oft in Verbindung mit verschiedenen Säuren und andern Metalloxyden; aufserdem gediegen in Meteormassen. Man scheidet es aus den natürlichen Oxyden des Eisens durch heftiges Glühen mit Kohle, gewöhnlich in den Hoheisenöfen. Das so erhaltene *Gufseisen, Roheisen,* wird von den fremdartigen Stoffen durch das Eisenfrischen befreiet, bei welchem Procefs dieselben nebst einem Theile des

---

1 Supplement to the Encyclop. Britann. Art. Cold. Vol. III. part. I. S. 255. G. Ann. XLIII. 373.

2 G. Ann. XLIII. 378.

3 Journ. de Phys. XLVIII. 166 u. G. Ann. XVIII. 412.

Eisens oxydirt, und so als Gas und Schlacke entfernt we
Das so gereinigte Eisen, *Stab-* oder *Frischeisen*, ha
specifisches Gewicht von 7,788, und ist ductil, jedoch h
und zusammenhängender, als alle andere Metalle. Es is
tractorischmagnetisch. Es erweicht sich in der Rothglühh
läfst sich in der Weifsglühhitze schweifsen und schmilzt ers
einer noch höheren Temperatur.

Seine Verbindungen sind:

Das *Eisenoxydul* (28 Eisen auf 8 Sauerstoff) ist n
für sich bekannt, sondern blofs in Verbindung mit Wasser
Säuren. Das *Eisenoxydulhydrat* (durch Niederschlag
eines Eisenoxydulsalzes mit einem Alkali erhalten) ist w
wird aber an der Luft durch Oxydation schnell grün, dann br
die *Eisenoxydulsalze* sind meistens grünlich oder weifs
färbt, entziehen der Luft und vielen andern Körpern Sauers
wodurch sie sich in Eisenoxydsalze verwandeln, und geben
reinen und kohlensauren Alkalien und mit blausaurem Eis
oxydulkali einen *weifsen*, mit blausaurem Eisenoxydkali ei
blauen, mit hydrothionsaurem Alkali einen *schwarzen* Nied
schlag. Die wichtigsten Eisenoxydulsalze sind: das *salzsau*
Eisenoxydul, erscheint in blafsgrünen, leicht in Wasser u
Weingeist löslichen, an der Luft zerfliefsenden Krystall
Schwefelsaures Eisenoxydul oder *Eisenvitriol*, das b
kannte blafsgrüne, leicht im Wasser lösliche und leicht kryst
lisirende Salz, welches beim Auflösen von Eisen in verdünn
Schwefelsäure erhalten wird, und beim Erhitzen zuerst in e
wässertes weifses Salz übergeht, dann sich durch Anziehen v
Sauerstoff aus der Luft in den rothen gebrannten Vitriol ve
wandelt. *Hydrothionsaures Eisenoxydul* bildet si
beim Vermengen von Eisenfeilicht mit Schwefel und Wass
durch Zersetzung des Letztern, als eine schwarze Materie, we
che aus der Luft begierig Sauerstoff anzieht, und dabei sovi
Wärme entwickelt, dafs bei gröfseren Massen wirkliche Entzün
dung eintreten kann, worauf die Darstellung der künstlich
Vulcane nach Lemery beruht. Das *kohlensaure Eisenoxydu*
kommt natürlich als *Eisenspath* vor; durch Ueberschufs vo
Kohlensäure in Wasser gelöst bildet es die meisten Stahlwasse
Das *einfach-blausaure Eisenoxydul* ist eine gelbe, kör
nige, nicht im Wasser lösliche Materie, welche mit viele
andern blausauren Salzen zu Doppelsalzen verbindbar ist. Da

bekannteste von diesen Doppelsalzen ist das *blausaure Eisenoxydulkali* oder *Blutlaugensalz*, welches gelb und leicht im Wasser löslich ist, und mit der Auflösung der meisten schweren Metalloxyde in Säuren verschiedenartig gefärbte Niederschläge hervorbringt (aus diesem schweren Metalloxyd, aus Eisenoxydul nnd aus Blausäure bestehend) und deshalb als Reagens für viele Metalle gebraucht wird.

Das Eisenoxyd (28 Eisen auf 12 Sauerstoff) findet sich in eisenschwarzen spitzen Rhomboëdern krystallisirt als *Eisenglanz*, aufserdem als *Rotheisenstein*, besitzt in Pulvergestalt eine braunrothe Farbe, und ist nicht magnetisch. Es bildet mit Wasser das *Eisenoxydhydrat*, das als *Brauneisenstein* natürlich vorkommt, sich beim Aussetzen des feuchten Eisens an die Luft als *Eisenrost* bildet und beim Glühen unter Wasserverlust in rothes Eisenoxyd verwandelt wird. Die *Eisenoxydsalze* sind meistens braun und roth gefärbt, schmecken zusammenziehender, als die Eisenoxydulsalze, werden durch verschiedene Substanzen, welche Sauerstoff aufzunehmen fähig sind, in Eisenoxydulsalze verwandelt, geben mit reinem nnd kohlensaurem Alkali gelbbraune Niederschläge, mit blausaurem Eisenoxydulkali einen blauen, mit Galläpfeltinctur einen blauschwarzen, mit Hydrothionsaurem Alkali einen schwarzen, und färben sich lebhaft roth mit Schwefelblausäure und mit Mohnsäure. Hierher gehören unter andern: das *salpetersaure* und das *salzsaure Eisenoxyd*, welche fast blofs als gelbbraune Flüssigkeiten bekannt sind, das *basisch schwefelsaure Eisenoxyd*, welches aus der, der Luft dargebotenen Auflösung des Eisenvitriols als ein braunes Pulver niederfällt, und das *saure*, welches dabei zu einer braunen Flüssigkeit gelöst bleibt. Das *basischphosphorsaure Eisenoxyd*, welches als *Raseneisenstein* vorkommt.

Ein oder mehrere Oxyde, welche mehr Sauerstoff, als das Eisenoxydul, weniger als das Eisenoxyd enthalten, und als Verbindungen des Eisenoxydul's mit Eisenoxyd nach verschiedenen Verhältnissen betrachtet werden können, werden unter dem Namen des *Eisenoxyd-Oxyduls* zusammengefafst. Dieses findet sich in der Natur als *Magneteisenstein*, bildet sich beim Verbrennen des Eisens an der Luft als *Hammerschlag* u. s. w. Es ist eisenschwarz, krystallisirt in regelmäfsigen Oktaëdern, und ist magnetisch, bald blofs retractorisch

bald auch attractorisch. Mit Wasser bildet es ein schmu grünes *Hydrat*, mit Säuren die *Eisenoxyd-oxyduls* Diese sind häufig grün oder brau geben mit Alkali e schmutzig grünen Niederschlag, und zeigen übrigens theil Reactionen der Eisenoxydule, theils die der Eisenoxyds Das natürliche *Berlinerblau* ist *phosphorsaures*, das ki liche ist *blausaures* und das *Würfelerz* ist *arseniksa* *Eisenoxyd-Oxydul.*

Das Chloreisen im Minimum (28 Eisen auf 36 Cl ist grauweifs, und löst sich im Wasser zu salzsaurem Ei oxydul auf. Das *Chloreisen im Maximum* (28 Eisen 54 Chlor) ist braun und verdampfbar, und liefert mit Wa salzsaures Eisenoxyd. — Das *Schwefeleisen im Minim* (28 Eisen auf 16 Schwefel) kömmt ziemlich rein als *Magn kies* vor und wird künstlich durch Erhitzen von Schwefel Eisen dargestellt. Es ist bräunlichgelb, metallglänzend magnetisch, und löst sich in wässerigen Säuren, unter E wickelung von Hydrothionsäure auf. Das *Schwefeleisen Maximum* (28 Eisen auf 32 Schwefel) findet sich als *Schu felkies* und *Wasserkies* und läfst sich nicht künstlich erh ten. Es ist gelb, verliert beim Glühen in verschlossenen G fäfsen die Hälfte des Schwefels, und entwickelt mit Säuren ke Hydrothionsäure. — Das *Phosphoreisen* ist grauweifs, met glänzend und spröde; es findet sich in manchem Eisen u macht es kaltbrüchig.

Zum *Kohlenstoffeisen* ist vorzügiich der Stahl, Gufseisen und der Graphit zu zählen, von denen der St am wenigsten, der Graphit am meisten Kohlenstoff enthält. D *Stahl* bereitet man theils, indem man dem Gufseisen dur Schmelzen an der Luft blofs einen Theil seines Kohlensto entzieht, durch welches *Stahlfrischen* der *Frischsta* oder natürliche Stahl erhalten wird; theils indem man Stang von Stabeisen, mit Kohlenpulver geschichtet mehrere Tage Glühen erhält, wobei der Kohlenstoff allmälig das Eisen durc dringt, uud dasselbe in *Cementirstahl* oder *Brennsta* umwandelt. Wird ein solcher Stahl unter einer Decke v grünem Glaspulver geschmolzen, so erhält man den *Gufsstah* Der Stahl ist eine Verbindung von Eisen mit ungefähr 0,01 Koh lenstoff. Mancher Stahl hält aufserdem einige andere Metalle

sehr kleiner Menge beigemischt, die zum Theil seine Härte vermehren. So verdankt der indische Stahl oder *Wootz* seine Härte und Damascirung der Beimischung von etwas Alumium und zum Theil auch Silicinm; auch der Zusatz von Chrom, Silber, Platin u. s. w. zum Stahl in ganz kleinen Mengen ertheilt ihm theils gröſsere Härte, theils andere gute Eigenschaften. Stahl, bis zum Glühen erhitzt und langsam abgekühlt, ist fast so weich wie Eisen, rasch abgekühlt, *gehärtet,* ist er sehr hart und spröde, und zeigt einen feinkörnigen Bruch. Wird er dann wieder gelind erwärmt, *angelassen*, so verliert er um so mehr von seiner Härte und Sprödigkeit, einer je höheren Temperatur er ausgesetzt wurde. Diese wird durch die Farben bestimmt, mit welchen der Stahl anläuft; bei schwacher Erhitzung färbt er sich hellgelb, dann dunkelgelb, dann kermesinroth, dann hellviolett, dann dunkelblau; bei noch stärkerem Erhitzen würde er grau und matt werden. Diese verschiedenen Farben, die sich auch bei der allmäligen Oxydation anderer Metalle, wie des Kupfers u. s. w. an der Luft in derselben Ordnung einstellen, rühren ohne Zweifel nicht von verschieden gefärbten Oxyden her, sondern von verschieden dicken Lagen desselben Oxyds (beim Stahl vom Eisenoxyd-Oxydul) welche, so lange sie sehr dünn sind, das Licht noch bis auf die Oberfläche des blanken Metalles dringen lassen, aber, je nach ihrer Dicke, eine verschiedene Färbung des von da aus reflectirten Lichtes zu Wege bringen, welche aber bei gröſserer Dicke undurchgänglich für das Licht werden, und dann ihre eigene glanzlose Farbe zeigen. Der Stahl ist ein wenig dichter und schmelzbarer, als das reine Eisen, läſst sich nicht so gut schweiſsen, nimmt den Magnetismus in gehärtetem Zustande schwieriger an, hält ihn aber viel fester, rostet nicht so leicht und läſst bei der Auflösung in Säuren Graphit in Gestalt eines schwarzen Pulvers zurück, daher Salpetersäure auf Stahl einen schwarzen Flecken macht.

Das *Guſseisen* enthält auſser 0,02 bis 0,04 Kohlenstoff häufig Phosphor, Schwefel und verschiedene Erdmetalle und schwere Metalle. Je nach dem Verhältniſs dieser Stoffe zeigt es verschiedene Eigenschaften. Man unterscheidet vorzüglich weiſses, graues und schwarzes, von dem das weiſse am wenigsten, das schwarze am meisten Kohlenstoff enthält. Das weiſse ist sehr hart und spröde, das schwarze ist von Graphitblättchen durchzogen, und das graue ist wegen seiner Weichheit und

seines Zusammenhalts zu den meisten technischen Zwe« am geeignetsten. Das Gufseisen rostet nicht so leicht und schmelzbarer als Eisen und Stahl, läfst sich nicht schweif und ist in der Glühhitze so weich, dafs man es zersä kann.

Der *Graphit* oder das *Reifsblei*, welcher sow natürlich vorkommt, als bei der Bereitung des Gufseisens erzeugt, enthält 0,90 bis 0,96 Kohlenstoff, ist weich und färbend, nicht magnetisch, fast unschmelzbar, nicht in Säu löslich, und verbrennt nur sehr schwierig. G

Ekcentricität.

Eccentricitas; eccentricité; *eccentricity*. Die Ekc tricität der Ellipse oder Hyperpel ist der Abstand des Bren punctes von Mittelpuncte. Wenn C den Mittelpunct der
Fig. 13. lipse, S ihren Brennpunct, CA die halbe grofse Axe vorste so ist CS die wahre Gröfse der Ekcentricität, oder wenn n sie sogleich mit der halben grofsen Axe vergleicht, $\frac{CS}{CA} =$ die Ekcentricität, für die $= 1$ gesetzte halbe Axe. Im letzt Sinne ist sie bei der Ellipse immer ein ächter Bruch, und pflegt man sie bei den Planetenbahnen in Vergleichung geg die als Einheit betrachtete halbe grofse Axe anzuführen.
Fig. 14. der Hyperbel hingegen ist der Brennpunct S weiter als d Scheitel A vom Mittelpuncte C entfernt, und daher $\frac{CS}{CA}$ gr fser als 1. Hieraus erhellt, was bei den elliptischen Planete und Kometenbahnen die Ekcentricität ist, und da sich na den neuesten Berechnungen Kometen finden, deren Bal hyperbolisch zu seyn scheint, so kommen in den Verzeic nissen der Kometenbahnen auch solche vor, deren Ekcentric tät > 1 ist.

Wenn die grofse Axe der Bahn $= a$, die kleine $= b$ i so hat man $b = a. \sqrt{(1 - e^2)}$ für die Ellipse; die Hyperb hat keine zweite begrenzte Axe.

Da die Erde und die Planeten, auch die meisten Komet in Ellipsen laufen, in deren einem Brennpuncte die Sonn steht, so ist für ihre Bahnen die Ekcentricität der Abstand d Sonne vom Mittelpuncte. Der Abstand in der Sonnennäh

ist daher $= a\,(1 - e) =$ der halben Axe weniger der Ekcentricität; der Abstand in der Sonnenferne $= a\,(1 + e) =$ der halben Axe addirt zur Ekcentricität.

Die Alten sahen die Sonnenbahn, worin nach ihrer Meinung die Sonne sich um die Erde bewegen sollte, als einen Kreis an; aber die ungleiche scheinbare Bewegung der Sonne veranlaſste auch sie, die Erde nicht in den Mittelpunct zu setzen, sondern ihr eine Ekcentricität beizulegen.

Die Gröſse der Ekcentricität für die einzelnen Planetenbahnen ist in den Artikeln angegeben, wo von den einzelnen Planeten die Rede ist. Andere sie betreffende Betrachtungen, oder die Mittel, die Gestalt der Bahn, folglich auch die Ekcentricität zu finden, s. im Art. *Bahn der Planeten.* *B.*

Ekliptik.

Ecliptica, orbita solis annua; Ecliptique; *Ecliptic;* (ἐκλειπτικὴ scil. γραμμή; von ἔκλειψις, Finsterniſs); ist derjenige gröſste Kreis am Himmel, den der Mittelpunct der Sonne bei seiner jährlichen Bewegung unter den Sternen scheinbar durchläuft. Er heiſst bei den griechischen Astronomen der schiefe Kreis (λόξος κύκλος) weil er eine schiefe Lage gegen den Aequator hat.

Selbst oberflächliche Beobachtung muſste schon früh die eigene Bewegung der Sonne wahrnehmen lassen. Denn nicht bloſs bemerkte man, daſs die Sonne nicht alle Tage gleich hoch über den Horizont herauf kommt, sondern wenn man auf die kurz nach ihrem Untergange in der Gegend, wo sie untergegangen war, sichtbar werdenden Sterne achtete, so muſste man bald gewahr werden, daſs sie eine eigne Bewegung von Westen nach Osten unter den Sternen habe. Waren die Sterne ziemlich genau nach ihrer wahren Lage auf einer künstlichen Himmelskugel aufgezeichnet, so konnte schon diese Beobachtung ungefähr dienen, um den Weg der Sonne unter den Sternen aufzufinden, und da man im Frühling und Herbst die Sonne bei Sternen im Aequator fand und bemerkte, daſs sie um diese Zeit einen eben solchen Bogen oberhalb des Horizontes beschrieb, wie die Sterne im Aequator, statt daſs sie im Sommer $23\frac{1}{2}$ Gr. höher und im Winter $23\frac{1}{2}$ Gr. tiefer bei ihren Culminationen stand, so muſste man leicht schlieſsen, daſs die Son-

nenbahn, schief geneigt gegen den Aequator, diesen in z
einander gegenüber liegenden Puncten schneidet, und sich ı
ten zwischen diesen Puncten 23 bis 24 Grade vom Aequ
entfernt.

Durch solche Beobachtungen waren schon die A
im Stande, die Ekliptik sehr gut aufzuzeichnen und zu
merken, daſs die Finsternisse des Mondes eintreten, w
der Mond sich in der Ekliptik befindet. Die Alten bedien
sich zu den Beobachtungen, worauf sie solche Bestimm
gen gründeten, der Ringkugel; unsere Beobachtungen
Meridiankreise geben uns viel genauere Mittel um zu
stimmen, ob die Ekliptik ein gröſster Kreis sey, und wel
Lage gegen den Aequator sie habe.

Denken wir uns nämlich die Polhöhe des Ortes als völ
genau bekannt, und den Meridiankreis vollkommen genau a
gestellt, so läſst sich 1. die Zeit und der Ort des Aequinoc
2. die Zeit und der Ort des Solstitii, und 3. auch für jed
andern Mittag die Lage der Sonne finden und folglich giebt
Beobachtung an, ob ihr wahres Fortrücken dem Fortgehen
dem durch jene Angaben festgesetzten gröſsten Kreise gem
ist. Um das Aequinoctium zu finden, muſs man gegen die Ze
wo die Sonne durch den Aequator geht, ihre Mittagshöhe me
rere Tage hinter einander beobachten; findet man nun zwei
einander folgende Tage, wo sie am einen die Höhe = Hö
des Aequators — u, und am andern die Höhe = Hö
des Aequators + v hatte, so ist sehr nahe die Zeit des Aequinoc

um $\frac{u}{u+v} \times 1$ Tag nach der ersten dieser beiden Beobac
tungen. Und wenn man den Durchgang der Sonne durch d
Meridian an beiden Tagen mit dem Durchgange eines bekannt
Sternes verglich, so kann man nach eben dem Verhältniſs d
Abstand des Aequinoctialpunctes von jenem Sterne in Rectasce
sion zwischen den Rectascensions-Unterschieden der Sonne u
jenes Sternes, so wie sie sich an jenen Tagen fanden, einscha
ten. Um die gröſste Entfernung der Sonne vom Aequator
finden, dienen zwar die beobachteten gröſsten und kleinst
Mittagshöhen der Sonne um die Zeit der Solstitien, da es sic
aber sehr selten trifft, daſs das Solstitium genau auf einen Mi
tag an dem Beobachtungsorte fiele, so würden diese Beobach

tungen allein jene Abweichung meistens etwas zu klein geben; es erhellet aber leicht, daſs man aus mehreren um das Solstitium angestellten Beobachtungen, indem man durch die vermittelst derselben, bestimmten Puncte einen gröſsten Kreis legt, finden kann, welche in die Zwischenzeiten der Beobachtung fallende gröſste Declination die Sonne erreicht habe. Hat man durch diese Beobachtungen die Lage des gröſsten Kreises bestimmt, worauf sich die Sonne bei den Aequinoctien und Solstitien befindet, so ergiebt jede tägliche Beobachtung, wenn sie von Refraction, Parallaxe und allen Fehlern des Instrumentes u. s. w. befreit ist, eine Bestätigung der Behauptung, daſs die Sonne immer sich auf jenem gröſsten Kreise befindet. — Die Abweichungen, welche wegen der Perturbation statt finden, können wir hier als völlig unbedeutend unerwähnt lassen.

Da man aber bei Untersuchungen von dieser Wichtigkeit die Bestimmungen unabhängig von der Polhöhe des Ortes, deren absolut genaue Bestimmung höchst schwierig ist, zu erhalten wünscht, so verdient die Methode, die man zu diesem Zwecke anwendet, hier noch erwähnt zu werden. Die Neigung der Ekliptik gegen den Aequator oder die *Schiefe der Ekliptik* findet man unabhängig von der Polhöhe, wenn man in beiden Solstitien die der gröſsten Declination entsprechende Mittagshöhe gehörig bestimmt. Diese Bestimmung setzt eine genaue Kenntniſs der der Refraction voraus, indem die wahre Mittagshöhe bei den hohen Ständen der Sonne im Sommer eine ganz andere Correction als bei den sehr kleinen Höhen im Winter erfordert; ist diese aber genau bekannt, und nimmt man darauf Rücksicht, daſs eine sehr kleine wechselnde Aenderung wegen der Nutation statt findet, so giebt der Unterschied der richtig hergeleiteten gröſsten und kleinsten Mittagshöhe halbirt die Schiefe der Ekliptik.

Der Ort des Aequinoctii wäre bekannt, wenn man die von diesem Puncte an gerechnete Rectascension irgend eines Sternes ganz genau kennte. Man findet nun leicht den Unterschied der Rectascension der Sonne und des Sterns an einem bestimmten Tage, aber da die Rectascension der Sonne unrichtig bestimmt wird, wenn Polhöhe und Schiefe der Ekliptik unrichtig angenommen seyn sollten, so muſs man mit jeder kurz nach dem Frühlings-Aequinoctio angestellten Beobachtung eine eben so lange vor dem Herbst-Aequinoctio angestellte Beobachtung verbinden. Der Fehler nämlich, den man bei der Berechnung der Rectascen-

sion der Sonne begeht, indem man diese aus der beobacht Mittagshöhe mit einer etwas fehlerhaften Polhöhe und Sch herleitet, giebt im einen Falle die Rectascension eben so vie grofs, als im andern zu klein, und zwei bei gleichen Mitt höhen im Frühling und Herbst angestellte Beobachtungen ben verbunden also eine richtige Rectascension des Sterns. Correction wegen der Refraction und wegen Fehler des Ins ments mufs freilich genau seyn, und man mufs sich nicht zwei solche combinirte Beobachtungen allein verlassen, sond aus zahlreichen Paaren solcher Beobachtungen ein sicheres sultat herleiten[1].

Die Ekliptik behält nicht immer einerlei Lage gegen Aequator, aber diese Aenderungen hängen fast ganz allein der veränderten Stellung der Erde oder der veränderten L des Aequators ab; die Artikel *Vorrückung der Nachtgl chen* und *Schiefe der Ekliptik* geben dieses näher

Die Ekliptik wird zwar wie jeder Kreis in 360 Grade theilt; aber bei ihr kommt noch die besondere Eintheilung 12 Zeichen vor, daher zum Beispiel die Länge der Sonne irgend einem Tage durch Zeichen, Grade, Minuten, Secun angegeben wird. Jedes Zeichen enthält 30 Grade, und das ste Zeichen geht vom Frühlings-Nachtgleichenpuncte bis zu 30 Länge. Die Himmelszeichen haben zugleich ihre Namen die sie andeutende Bezeichnung von den Gestirnen, die Thierkreise, d. i. dem Streifen, der die Ekliptik am Him umgiebt, stehen; sie sind folgende:

♈ *Widder*, in dessen Anfang sich die Sonne 21. März befindet,

♉ *Stier*, in welchen die Sonne am 20. April tritt.

♊ *Zwillinge*, 21. Mai,

♋ *Krebs*, 21. Juni,

♌ *Löwe*, 22. Juli,

♍ *Jungfrau*, 23. August,

♎ *Waag* 23. September,

♏ *Scorpion*, 23. October,

♐ *Schütze*, 22. November,

♑ *Steinbock*, 21. December,

♒ *Wassermann*, 20. Januar,

♓ *Fische*, 18. Februar.

1 Bessel fundamenta astronomiae Cap. II.

Der Nullpunct des Widders ist der Punct der Frühlings-Nachtgleiche, der Nullpunct der Waage der Punct der Herbst-Nachtgleiche; die Sonne hat ihre gröfste nördliche Declination erreicht, wenn sie in 0° des Krebses, und ihre gröfste südliche Declination, wenn sie in 0° des Steinbocks ist.

Dafs diese Theile der Ekliptik nicht mehr den Sternbildern entsprechen, von denen sie ihre Namen haben, und dafs daher der Ausdruck: die *Sonne tritt in den Widder,* — nicht mehr heifst, sie fangt nun an durch das Sternbild des Widders zu gehen, wird durch die *Präcession der Nachtgleichen* bewirkt, und soll dort näher erklärt werden.

Die Ebene der Ekliptik ist die Ebene, worin die Erde ihre wahre Bewegung um die Sonne vollendet, und ihre Lage ist durch jene Bestimmung der scheinbaren Sonnenbahn bestimmt. Die Lage dieser Ebene ist zwar nicht ganz unveränderlich, aber ändert sich doch ungemein wenig, und daher dient sie zur Grundlage für alle auf lange Zeiten hinaus gehende Bestimmungen. Eigentlich sollte man freilich alle Angaben auf die völlig unveränderliche Ebene beziehen, welche LAPLACE aus der Lage der Planetenbahnen und aus der Kenntnifs der Masse aller Planeten herleiten lehrt[1]. *B.*

Elasticität.

Federkraft, Schnellkraft, Spannkraft, Springkraft; *Elasticitas, Elater, Contentio, Palintonia*; Elasticité, Ressort; *Elasticity, Elastic force.* [von ἐλαστής, ἐλατής, ἐλατήϱ (ἐλάω) der bewegt, treibt].

Man bezeichnet hiermit diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie, wenn sie ganz oder an einem Theile zusammengedrückt, zusammengebogen oder theilweise um eine ihrer Axen gedrehet wurden, wie auch im entgegengesetzten Falle, wenn man sie durch irgend eine Gewalt in einen gröfseren Raum ausdehnte, ausspannte, nach dem Aufhören der diese Veränderungen bewirkenden Ursachen ihre vorige Gestalt wieder annehmen. Die erstere jener genannten Erscheinungen zeigt sich bei allen Körpern, sowohl den festen als auch den flüssigen, und zwar nicht blofs der tropfbar flüssigen, sondern auch

1 Exposit. du système du monde Livre IV. Chap. 3.

den expansibelen oder elastisch flüssigen, die letzteren dag
werden allgemein bei festen Körpern beobachtet, bei tropfb
zwar nicht durch Erfahrung gefunden, allein es läſst sich
der Analogie mit Grunde schlieſsen, daſs auch diese sich in i
früheren Raum wieder zusammenziehen würden, wenn ma
durch irgend eine mechanische Gewalt (auſser dem Einfl
der Wärme) in einen gröſseren Raum auszudehnen vermöc
den luftförmigen Körpern aber, also den Gasarten und Dämp
kommt die Eigenschaft, sich nach aufhörender äuſserer, mec
nisch wirkender, ausdehnender Kraft in ihren vorigen R
wieder zusammen zu ziehen, überall nicht zu, indem sie v
mehr allezeit einer äuſseren zusammendrückenden Kraft ent
gen sich auszudehnen, sich zu expandiren streben. Indem
aber zum Wesen der Elasticität gehört, daſs ein Körper, w
chem diese Eigenschaft zukommt, allezeit das Bestreben äuſs
sein durch den Einfluſs der Wärme bedingtes Volumen bei
behalten, folglich seinen früheren Raum wieder einzunehm
mag derselbe durch äuſsere mechanische Gewalt verkleinert o
vergröſsert seyn, so können die gasförmigen Körper nicht f
lich *elastisch* genannt werden[1]. Man hat dieses lange gefü
und sich daher durch die Benennungen der *absoluten*, *speci
schen*, *permanenten* Elasticität u. s. w. zu helfen gesucht;
scheint mir indeſs der Sache am meisten angemessen zu se
den angegebenen Begriff der Elasticität festzuhalten, und d
semnach die festen und tropfbar flüssigen Körper *elastisch*,
gasförmigen aber nach Gren[2], Gehler[3], J. T. Maye
de Luc u. a. *expansibel* zu nennen, jenen also *Elasticität*, d
sen dagegen *Expansibilität* als bezeichnende Eigenschaft beiz
legen[5]. Diesem nach wird also bloſs von der Elasticität

1 Der Ableitung nach lieſse sich die Bedeutung des Wortes a
auf gasförmige Körper ausdehnen. Die individuelle Elasticität
festen und wahrscheinlich auch der tropfbar flüssigen Körper ist al
den gasförmigen nicht vollständig eigen.

2 Grundriſs d. Nat. S. 260.

3 Th. V. S. 244.

4 Anfangsgründe d. Nat. §. 90, 97, 98.

5 Gren a. a. O. S. 79. will diejenigen Erscheinungen, welc
zur Elasticität gerechnet werden, trennen, und die einen mit Elas
cität, die andern mit Contractilität bezeichnen, eine Unterscheidun
welche auf seiner nicht ganz richtigen Theorie der Elasticität b

festen und tropfbar flüssigen Körper die Rede seyn, die Expansibilität aber, welche den gasförmigen Körpern zukommt, am gehörigen Orte gleichfalls untersucht werden.

I. Allgemeine Betrachtungen.

Einige der gemeinsten Erscheinungen, welche aus der Elasticität der Körper folgen, zeigen sich beim Federharze, einer elfenbeinernen, marmornen, gläsernen oder achatenen Kugel, einer Darmsaite oder Metallsaite u. dgl. m. Wird ein Stück Cautchouc, wegen seiner vorzüglichen Elasticität auch Federharz genannt, zusammengedrückt, oder in einen längeren Streifen ausgezogen, so zieht es sich bei nachlassender Gewalt wieder in seine frühere Form zurück. Am interessantesten in dieser Hinsicht, und das Wesen der Elasticität am deutlichsten zeigend ist eine elfenbeinerne Kugel. Alle solche elastische Kugeln von Elfenbein, Glas, Achat, Marmor, Stahl, Krystall, Bernstein, gepolsterte Bälle u. dgl. werden mit groſser Kraft zurückgestoſsen, wenn sie auf irgend eine harte oder elastische Fläche fallen. Um die nächste Ursache, wodurch dieses geschieht, und den dabei statt findenden Proceſs anschaulich zu machen nimmt man eine geschliffene Marmorplatte oder eine dicke Glasplatte von möglichst ebener Fläche und überzieht sie mit einer dünnen Lage Kienruſs, indem man sie über der Flamme eines Stückchens Kienholz oder eines mit Terpentinöl getränkten Ballens Baumwolle, an einem kleinen Stäbchen befestigt, schwärzt. Der hierdurch entstandene Ueberzug hat eine geringe Dicke, und indem eine elfenbeinerne Kugel die ebene Fläche eigentlich nur in einem geometrischen Puncte berühren kann, so wird dieselbe bei einer so leisen Berührung, daſs man diese kaum durch das Gehör vernimmt, nur an einem kleinen Puncte,

---

Anm. Die nachfolgenden Untersuchungen werden zeigen, daſs eine solche Unterscheidung unnöthig ist. Das Wort: expansibel, von *expandere*, ausdehnen, ausbreiten, drückt zwar, genau genommen die Fähigkeit aus, durch irgend eine Ursache ausgedehnt, ausgespannt zu werden, also ausdehnsam, nicht aber das innere Bestreben nach Ausspannung, Ausbreitung, welches doch den gasförmigen Körpern eigen ist; allein es ist auf allen Fall eben so bezeichnend als das Wort elastisch, und verdient um so mehr aufgenommen und beibehalten zu werden, als es in der englischen und französischen Sprache bereits allgemein gebräuchlich ist.

der Dicke des färbenden Ueberzuges proportional, schwar: färbt seyn. Läfst man darnach die Kugel aus einer Höhe 3 bis 6 Fufs auf die Platte fallen und fängt sie beim Aufsj gen wieder auf, so wird sie einen runden gefärbten Fleck 2 bis 3 Lin. Durchmesser zeigen, dessen Gröfse die Berühru fläche beider Körper angiebt, und woraus hervorgeht, dafs gewisse Menge Theile der Kugel zurückgedrückt seyn muf: deren Zurückspringen an ihren früheren Ort die Kugel in Höhe trieb. Hierin zeigt sich also das eigentliche Wesen Elasticität sichtbar, indem allezeit Theile der Körper zusamm gedrückt werden, und mit einer der Zusammendrückung p portionalen Kraft ihren früheren Ort wieder einzunehı streben.

So wie hierbei eine Verminderung des Volumens statt fa geben ausgespannte Saiten, sowohl von Metall als auch aus Sch därmen, Streifen Leders, vegetabilische Stränge, selbst Ha Spinnfäden, Seidencoconfäden u. dgl. vielmehr eine scheinb oder wirkliche Vermehrung ihres Volumens, wenn sie Länge nach ausgedehnt werden; und bei nachlassender Gew sich wieder zusammenziehen. Beides aber, sowohl Zusamme ziehung als auch Ausdehnung zugleich zeigt sich, wenn m einen elastischen Stab von Metall, Glas, Elfenbein oc Holz u. s. w., eine Stahlfeder, einen Streifen Fischbein u. d aus der geraden Richtung krumm biegt, und der Körper l nachlassender Gewalt vermöge seiner Elasticität wieder gera
Fig. 20. wird. Bezeichnen nämlich a b c d die körperlichen Grenzen d geraden Stabes, beide parallel und gleich lang, und man bie denselben krumm, so werden die Bogen a α b und c β d para lel bleiben, ersterer ist offenbar länger als letzterer, die Thei chen müssen daher in beiden der halben Differenz ihrer Län proportional zusammengedrückt und ausgedehnt seyn. Es laf sich also bei festen Körpern ihre Elasticität sowohl rücksichtlic der Ausdehnung als auch der Zusammendrückung der einzelne Theile derselben anschaulich nachweisen[1].

Eine eigene Art der Elasticität zeigt sich bei denjenige Körpern, welche als Cylinder von weit gröfserer Länge als ih Durchmesser ist, z. B. Stäbe, Drähte, Saiten u. dgl. durch sic selbst steif oder durch irgend eine Kraft gespannt, um ihr

1 Vergl. Leslie Elements of Natural Philos. Edinb. 1823. I. 25

Längenaxe gedrehet werden. Hierbei winden sich einige Theile über die andern, einige werden einander näher gebracht, andere weiter von einander entfernt; es findet also eine partielle Verdichtung und Verdünnung statt, und indem die Theile bei aufhörender Einwirkung der drehenden Kraft ihre vorigen Stellen wieder einnehmen, entstehen drehende Oscillationen um ihre Längenaxe. Etwas diesem ähnliches findet auch bei gedreheten Körpern statt, z. B. bei Seilen, Darmsaiten u. dgl. Im Allgemeinen werden alle Körper durch solche Drehungen verkürzt, am meisten aber findet dieses bei Seilen und Stricken statt, oder bei einzelnen neben einander herabgehenden Fäden, bei denen das Umwinden der einen um die andern auffallend sichtbar wird; indefs werden Metallsaiten durch solche Drehungen verkürzt, und selbst die Spinnefäden[1].

Man darf annehmen, dafs alle Körper elastisch sind, aber in einem sehr ungleichen Grade, und in sofern unterscheidet man die elastischen von den nicht elastischen. Zu den *elastischen* gehören unter den Melallen vorzugsweise der Stahl bei einem gewissen Grade der Härtung, das Platin, Kupfer, Silber, zu den *unelastischen* das Gold und Blei; überhaupt aber wird diesen Körpern eine gröfsere oder geringere Elastcität durch gewisse eigenthümliche Behandlungen mitgetheilt, als dem Stahle und in weit geringerem Grade auch dem Eisen durch das Federhartmachen, dem Silber, Platin, Kupfer, Zink, Nickel, in einem geringen Grade dem Zinn und Molybdän durch Hämmern, Walzen und Ausziehen zu Drahte, das Gold und Blei[2] sind so biegsam, dafs man sie, insbesondere das letztere, völlig unelastisch zu nennen geneigt seyn könnte, und die übrigen sind meistens so spröde, dafs ihre Elasticität nur schwer beobachtet wird. Keine andere Arten von Körpern gehen durch verschiedenartige Behandlung und durch Verbindung mit einander so sehr in die verschiedenen genannten Zustände über, als die Metalle. So ist Eisen mit viel Kohlenstoff als *Gufseisen* zum Theil sehr spröde[3], mit weniger Kohlenstoff als *Stahl* nach

---

1 S. Th. II. S. 598.

2 Das Blei wird nach den Versuchen von Guyton de Morveau weder durch Hämmern noch durch Pressen und Drahtziehen dichter, sondern nur unbedeutend in Verhältnifs von 11,358: 11,388 durch starkes Pressen in einer genau schliefsenden Form. S. Ann. de Chim. LXXI. 196.

3 Vergl. *Dehnbarkeit* Th. II. S. 506.

Umständeu sehr spröde oder höchst elastisch, im reinen stande sehr weich; Kupfer an sich und mit Zink verbu biegsam, durch Hämmern sehr elastisch, mit Zinn verbu aber spröde; Zink im gewöhnlichen Zustande sehr spröde einer Temperatur zwischen 100° und 150° C. gewalzt ziemlich elastisch; Gold und auch Silber werden durch Zu von Kupfer härter und fähiger zum Elastischwerden. Die den, und unter ihnen hauptsächlich die Kieselerde, verbi mit dem Zustande der Härte meistens einen hohen Grad Elasticität. Unter den thierischen Stoffen sind das Fischl die Gräten, das Elfenbein, Schildpatt, Perlmutter, Horn, Federn, Nägel, Haare u. s. w. vorzugsweise elastisch, die getabilien aber zeigen im Durchschnitte sämmtlich einen ho Grad der Elasticität, und indem den Flüssigkeiten, folglich a den durch diese erweichten Körpern, ein hoher Grad der Elasti nicht abzusprechen ist, so darf man mit Recht alle Körper für m oder weniger elastisch halten, und die Frage könnte bloſs se ob sich dieses auch auf die genannten sehr weichen Metalle einige andere Körper ausdehnen lieſse. Man hat als Beweis geführt, daſs alle Körper den Schall leiten, und folglich elasti seyn müssen. Ob aber die Fortpflanzung des Schalles bei ein Körper diejenige Elasticität beweise, wovon nach der oben a gestellten Definition hier die Rede ist, bleibt so lange fragli als wir die eigenthümlichen Schallwellen, welche zur Fortl tung des Schalles erfordert werden, nicht genau kennen. I deſs ist das Blei und das Gold den Beobachtungen na doch etwas elastisch, und da eben diese Metalle, so wie ande weiche Körper, durch groſse mechanische Gewalt nur wen oder gar nicht zusammendrückbar sind, selbst auch das no glühende, also sehr weiche Glas, nach den Versuchen des Gr fen Bucquoi nicht meſsbar zusammengedrückt werden kann, müssen wir sie allerdings für elastisch halten; weil wir sie son gegen alle Wahrscheinlichkeit für absolut harthalten müſsten Diese Eigenschaft ist daher als eine[1] *allgemeine aller Körp* anzusehen. Dabei ist indeſs zugleich wohl zu berücksichtige daſs die Tiefe, bis zu welcher ein Körper zusammengedrüc werden kann, oder die Raumverminderung, welche er dab erleidet, nicht als das Maſs seiner Elasticität gelten darf. Ein

1 G. XLIII. 98.

Kugel von gehärtetem Stahle, von Glas oder Achat ist insbesondere durch gleiche Kräfte bei weitem weniger zusammendrückbar als eine von Holz, oder ein mit Haaren ausgestopfter Ball, aber dennoch ohne Zweifel elastischer zu nennen, insofern die niedergedrückten Theile mit weit mehr Kraft und ungleich vollkommener nach aufhörendem Drucke bei jenen ihre vorige Stelle wieder einnehmen, als bei diesen. Obgleich man hiernach also alle Körper allerdings elastisch nennen kann, und die Eigenschaft der Elasticität somit eine allgemeine ist, so ist sie doch zugleich auch eine relative, d. h. der Unterschied der Elasticität bei den verschiedenen Körpern ist so grofs, dafs man hiernach im gemeinen Sprachgebrauche und insbesondere für die practische Anwendung einige elastisch, andere aber nicht elastisch nennt [1].

Unter die merkwürdigsten Körper, rücksichtlich der Elasticität gehört das Glas. Es wird weiter unten gezeigt werden, dafs dasselbe in kleineren und gröfseren Stücken in sofern vollkommen elastisch ist, als seine Theile bei nachlassendem äussern Drucke auf ihre vorige Stelle genau wieder zurückkommen. Hiervon abgesehen zeigt sich kein anderer Körper auf gleiche Weise im höchsten Grade spröde und zugleich auch höchst elastisch, und das Glas dient eben daher hauptsächlich dazu, diese beiden Eigenschaften anschaulich darzustellen. Die Elasticität zeigen schon mäfsig dicke Glasröhren, indem sie sich biegen lassen, noch mehr sehr dünne, bis zu den feinsten *Glasfäden* [2], sehr dünn geblasene Glaskugeln und Scheiben. Insbesondere zeichnen sich die sogenannten *Glastrompeten* aus, trompetenförmige Flaschen mit einem sehr dünnen, etwas gewölbtem Boden, welcher concav wird, wenn man durch Saugen die Luft in der Flasche etwas verdünnt, und convex, wenn man hineinbläfst. Diesen ähnlich sind die hohlen Glaskugeln von 5 bis 6 Z. Durchmesser, welche durch eine Glaswand von so feinem Glase halbirt sind, dafs dieselbe beim Hineinblasen oder Erschüttern der ganzen Kugel klirrt. Noch mehr wird die Elasticität des Glases dargethan durch einen Versuch, welchen Leslie [3] erzählt. Wenn man ein Thermometer mit grofser Kugel

1 Vergl. Musschenbroek Introd. 1. §. 63.
2 Vergl *Dehnbarkeit* Th. II. S. 511.
3 Elements of natural Philosophy. Edinb. 1823. I. 24.

und langer Röhre bis an das Ende der letzteren mit Quecks füllt, und umkehrt, so wird das Quecksilber herauslaufen, so man dasselbe schräg hält, noch mehr aber, wenn man es kehrt, aber sogleich wieder sinken, wenn man es lothı hält, die Kugel herabwärts hängend. Hieraus geht hei dafs der Druck des schweren Metalles in Verbindung mit Luftdrucke das Glas der Kugel ausdehnt [1].

Auf gleiche Weise auffallend sind die Erscheinungen Sprödigkeit beim Glase. Abgesehen von der Unbiegsam gröfserer Stücke und dem leichten Zerspringen oder Zersplit desselben durch mechanische Gewalt zeigt man dieselbe ins sondere an den *bononischen Flaschen* oder *Springkü chen (phialae bononienses*; matras de Bologne; *B logna jars)* und den *Springgläsern*, *Glastropf Glasthränen (lacrymae vitreae*; larmes bataviques, l mes de verre; *glass drops*, *Prince Rupert's drop* Die erstern sind gegen 3 bis 4 Z. lange, birnförmige, Kol von weifsem oder grünem Glase, oben von 0,5 unten von 1 1,5 oder 2 Lin. Glasesdicke. Man kann dieselben an ihı untern Ende mit einem Stücke Holz ziemlich heftig schlag ohne dafs sie zerbrechen; wirft man aber ein kleines Stück einem Feuerstein, nur eine Linse grofs, hinein, so zerspı gen sie in viele Stücke. Ein gröfseres Stück Quarz wirkt hi bei oft geringer als ein kleineres, wahrscheinlich weil erste sie minder leicht mit einer scharfen Spitze ritzt; gröfsere stum uud weiche Körper, auch mit gröfsrer Heftigkeit in ihnen l wegt, bringen keine Wirkung hervor. Sie werden auf die g wöhnliche Weise der Glasarbeiten geblasen, aber nicht Kühlofen gekühlt, wodurch sie aufserordentlich spröde werd indem die äufsern Theile früher als die innern erkalten, u daher durch die inneren noch stark ausgedehnten Theile ei unverhältnifsmäfsige Ausdehnung behalten, wodurch die inı ren wiederum sich nicht gehörig zusammenziehen können, u daher beim Geritztwerden zerspringen. Eben daher verlier

---

1 Diesen Versuch hat schon früher v. Servieres angegeben, l tete aber die Ursache von einer Zusammendrückung des Quecksilbı durch sein eigenes Gewicht ab, nicht von der Elasticität des Glas S. Journ. Encyclop. 1778. Nov. p. 155. Zwar wirken beide Ursach vereint, vorzugsweise aber die Elasticität des Glases.

sie ihre Eigenschaft, wenn man sie auf Kohlen langsam erhitzt und allmälig kalt werden läſst, oder in einem Kühlofen abkühlt. P. B. Balbus war es, welcher ihre Eigenschaft zuerst erkannte, und in Bologna Versuche damit anstellte, woher sie ihren Namen erhielten [1]. Die *Glastropfen* sind langgezogene, in einen meistens krumm gebogenen, zuweilen etwas schraubenförmig gewundenen Schwanz endigende Tropfen von grünem Glase, welche man glühend in kaltes Wasser tröpfeln läſst, so daſs sie schnell darin erkalten, und auf gleiche Weise eine ausgezeichnete Sprödigkeit erhalten, als die Bologneser Flaschen. Der dicke Theil derselben läſst sich mit einem hölzernen Hammer schlagen und sogar auch abschleifen, ohne daſs sie zerspringen, welches sogleich erfolgt, wenn man die Spitze abbricht, und zwar so sehr, daſs sie in ein grobes Glaspulver wie zerstoſsenes Glas, jedoch ohne scharfe Splittern, zerstieben. Weil dieses mit nicht unbedeutender Gewalt geschieht, so ist es zur Sicherung der Augen nothwendig, sie zugleich in der hohlen Hand festzuhalten. Auch bei diesen sind die Theile in starker Spannung, das Zerbrechen der Spitze leitet ein Zerspringen der oberen Theile ein, und dieses theilt sich sofort den übrigen mit. Daſs dieses die richtige Erklärung sey, hat zuerst Homberg erkannt [2], und Hooke ausführlich gezeigt [3], auch folgt es aus dem Verhalten der bononischen Flaschen und vielen andern analogen Erscheinungen, namentlich daraus, daſs viele schlecht gekühlte Gläser, Glasröhren und Scheiben nach vielen Seiten hin zerspringen, wenn sie an einer Stelle geritzt werden. Mit Unrecht hat man dia Erscheinung von dem Eindringen der Luft in die zahlreichen Blasen abgeleitet, welche sich allerdings oft in den Glasthränen finden, denn sie zerspringen auch im luftleeren Raume; und es giebt deren viele ohne diese Blasen; auch hat Bosc de'Antic gezeigt, daſs diese kleinen Bläschen nichts anders als in Dampf aufgelösete Glasgalle sind [4]. Man kann die Glastropfen auch aus weiſsem Glase verfertigen, jedoch gerathen diese seltener als die grünen, welches zu dem Glauben veranlaſst hat, als könnten sie nur aus letzterem verfertigt werden. An Sprödigkeit ihnen ähnlich sind

1 Comm. Soc. Bonon. I. I. 328.
2 Mém. de l'Ac. X. 147.
3 Microgr. obs. VII.
4 Mém. prés. IV.

die schraubenförmig gewundenen *Glasfäden (vermiculi vit* welche ihre gewundene Gestalt ohne Zuthun der Arbeiter d das Herabfliesen in das Wasser annehmen. Erhitzt man Glastropfen auf Kohlen und läſst sie langsam in denselben im Kühlofen erkalten, so verlieren sie ihre Sprödigkeit, gleichen dem gekühlten Glase [1].

Etwas diesem Aehnliches findet auch bei den Metallen, mentlich dem Stahl statt. Wird derselbe glühend in Wa geworfen, so erhalten seine Theile eine eigenthümliche Spann er ist spröde, und zwar oft auf gleiche Weise, als das (*glashart*), wird er aber dann wieder erhitzt, und erkaltet la sam (*angelassen*), so wird er weich oder federhart, je nach die Hitze, welcher man ihn wieder aussetzt, gröſser oder ringer war, und seine Federkraft ist nach diesen Bedingun schwächer oder stärker. Man erklärt diese Erscheinung beiden genannten, und bei allen andern Körpern, wo sie st findet, daraus, daſs die Theile beim langsamen Erkalten der Cohäsion günstigere Lage annehmen, so daſs sie nicht leicht über die Grenze derselben hinausgerückt werden könne

Bleibend oder *permanent* [3] *elastisch* heiſst ein Körper, d sen Theile nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung, lange diese Einwirkung auch dauern oder wie oft sie wied holt werden mag, dennoch allezeit wieder die frühere Ges und das ursprüngliche Volumen des Körpers wieder herstel abgesehen vom Einflusse einer höheren oder geringeren Te peratur. Den Erfahrungen zu Folge können bloſs die Flüss keiten permanent elastisch genannt werden. Von den exp sibelen nämlich ist dieses so weit erwiesen, als überhaupt was durch Erfahrung erweislich ist [3], von den tropfbaren Fl

1 Kästner diss. math. et phys. n. VIII. p. 59. 125. Erxle Naturlehre. S. 355.

2 Young Course of Lectures on Natural Phil. Lond. 1807. II 4. I. 644.

3. Permanente Elasticität, hat man bisher als unterscheiden Charakter der expansibelen Flüssigkeiten angesehen, und diese Eig schaft den Gasarten, im Gegensatze der Dämpfe beigelegt. Ne man aber die Gasarten *expansibel*, so kann der Ausdruck, perman elastisch, wieder in seiner eigentlichen Bedeutung genommen werd Ohnehin bleiben die Dämpfe, so lange sie wirklich Dämpfe sind, e so gut permanent elastisch, als die Gasarten.

4. Vergl. *Expansibilität.*

sigkeiten aber läſst sich dasselbe nur in so fern annehmen, als es aus theoretischen Gründen im höchsten Grade wahrscheinlich wird; auch entscheidet die oben erwähnte Erfahrung des Grafen Bucquoi dafür, indem das noch zähe, mithin nur unvollkommen flüssige Glas durch wiederholte Schläge mit dem Rammklotze nicht dichter wurde, folglich seine Theile durch mehrfache starke Compressionen einander nicht bleibend näher kamen. Unter den festen Körpern haben einige einen sehr hohen Grad der Permanenz ihrer Elasticität. So wird eine Stahlfeder oder eine gut geschlagene Messingfeder, eine dünne Stange Fischbein, Horn, Schildpatt und dergl. eine unbestimmbar lange Zeit elastisch bleiben, jedoch unter zwei Bedingungen, nämlich zuerst wenn ihrer Elasticität nicht über eine gewisse Grenze hinaus entgegengewirkt wird, so daſs ihre Theile nach aufhörendem Drucke vollkommen an ihren früheren Ort zurückkommen; und zweitens wenn die Zusammendrückung nicht zu lange Zeit anhaltend wirkt. Beispiele unglaublich anhaltender Elasticität unter diesen angegebenen Bedingungen geben unter andern die Federn der Taschenuhren und die feinen Spiralfedern der Unruhe in denselben. Wenn man diese übrigens längere Zeit, nämlich Monate oder Jahrelang gespannt läſst, so verlieren sie von ihrer Elasticität, und kommen nicht wieder auf ihren früheren Standpunct zurück. Eigentlich permanent elastisch sind daher nur die Flüssigkeiten, welches auch mit den theoretischen Vorstellungen über das Wesen der Elasticität übereinstimmt.

Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob es *vollkommen elastische Körper* giebt oder nicht. Vollkommen elastisch nennt man insgemein diejenigen Körper, deren Kraft der Elasticität der zusammendrückenden Kraft genau proportional ist, deren Theile also bei nachlassendem Drucke ihren vorigen Raum vollständig wieder ausfüllen [1]. Untersucht man zuerst das Verhalten der festen Körper, so könnte man viele derselben allerdings nach dieser Feststellung des Begriffs vollkommen elastisch nennen. Wenn man nämlich Versuche mit der Drehwage anstellt, und den an einer Metallsaite hängenden Körper aus dem Zustande der Ruhe um die lothrechte Axe der Saite durch einen nicht zu groſsen Bogen bewegt; so wird derselbe sich selbst überlassen seinen ursprünglichen Stand wieder einnehmen,

1 Musschenbroek Introd. I. 761. Robison Mech. Phil. I. 374. Biot Traité. I. 469.

wie oft man auch diesen Versuch wiederholt [1]. Die Fed der Uhren und noch mehr die Spiralfedern der Unruhe in d selben stellen sich, mindestens die letzteren, mehrere Dec nien hindurch wieder auf ihren ursprünglichen Standpunct Wenn man aber berücksichtigt, dafs alle feste Körper, w sie sehr lange Zeit in unausgesetzter Spannung erhalten werd von ihrer Elasticität verlieren, so mufs zugleich auch n nothwendig angenommen werden, dafs ein der kürzeren Z proportionaler Verlust der Elasticität gleichfalls statt finde, w derselbe auch so geringe ist, dafs er in dieser Ausdehnung ni gemessen werden kann. Versteht man ferner unter vollko mener Elasticität diejenige Eigenschaft, vermöge welcher Körper nach aufhörendem Drucke durch ihre Elasticität ihr v riges Volumen mit einer der zusammendrückenden *völlig gl chen* Kraft wiederherstellen, so kann ihnen eine solche auf kei Weise beigelegt werden; denn sonst müfste z. B. eine vo kommen elastische Kugel, eine federharte Stahlkugel, auf ei vollkommen elastische oder harte Platte fallend durch ihre El sticität wieder zu einer gleichen Höhe emporgeschnellt werde als von welcher sie herabfiel, und der Waagebalken einer Co lombschen Drehwaage an einer vollkommen elastischen Sai müfste um einen Bogen = x gespannt und losgelassen einen B gen = 2x durchlaufen, welches beides, eben wie eine gespann und schwingende Saite eine beständig fortdauernde Bewegu geben würde. Dafs dieses nicht stattfindet, kann man nicht vo Widerstande der Luft herleiten, weil im luftleeren Raume d Oscillationen zwar länger dauern, aber doch bald genug aufhö ren, und obgleich kein Vacuum ein absolutes ist, so kann ma doch ohne Schwierigkeit zeigen, dafs die Bewegungen we früher aufhören, als aus dem geringen Widerstande der no übrigen verdünnten Luft erklärlich ist. Man leitet daher di sen Abgang einer vollkommenen Elasticität nicht ohne Grun

---

1 Robison a. a. O. S. 375 versichert Thon durch eine Oeffnun geprefst, und so zum Drahte formirt zu haben. Ein solcher, 0,05 im Durchmesser und 7 F. lang, verstattete zwei ganze Umdrehung um seine Längenaxe, und der Zeiger kam stets wieder auf seinen ur sprünglichen Stand zurück. Ein Draht von Blei, viermal um eine gan Umdrehung gedreht, brachte den Zeiger nicht wieder auf seinen ur sprünglichen Stand, bei der Vergleichung aber zeigte sich der Tho elastischer als das Blei.

von einer Reibung der zusammengedrückten und an ihren ursprünglichen Ort zurückkehrenden Theile ab, wodurch nothwendig ein Theil der Kraft verloren werden muſs [1]. Mersenne [2] z. B. fand, daſs eine aus 12 Darmhäutchen verfertigte und durch 8 ℔ Gewicht gespannte Saite mit einer 0,25 Lin. dikken und mit 6,375 ℔. gespannten Metallsaite den Einklang gab, daſs aber die erstere nur 40 Secunden, die letztere 64 Sec. lang tönte, woraus er schlieſst, daſs sich die Theile des Metalles bei Veränderung der Gestalt weniger reiben, als die Theile der Darmsaite [3].

Flüssige Körper sind allerdings nach der zuerst aufgestellten Bedeutung dieser Bezeichnung vollkommen elastisch, insofern die tropfbaren nach den wenigen darüber vorhandenen Versuchen bei aufhörendem Gegendrucke ihren früheren Raum wieder ausfüllen [4], bei expansibelen aber ist dieses noch mehr der Fall, unter der Voraussetzung, daſs man stets von irgend einem geringeren Grade ihrer Zusammendrückung zu einem stärkeren übergeht, und so umgekehrt. Ob sie auch in der zweiten Bedeutung des Ausdrucks vollkommen elastisch genannt werden können, läſst sich zwar nicht durch Versuche ausmitteln, allein wenn schon die Reibung der Theile an einander bei ihnen kein Hinderniſs macht, so lassen sie sich doch in dieser Hinsicht nicht wohl als vollkommen elastisch ansehen, weil bei ihrer Compression allezeit Wärme entbunden, bei ihrer Ausdehnung aber gebunden wird; daſs Letzteres aber geschehe, erfordert einige Zeit, während welcher auch etwas Kraft verloren geht.

Unter vollkommen elastisch könnte man drittens die Eigenschaft der Körper verstehen, wenn sie einer jeden Zusammendrückung, Biegung, Drehung durch eine willkürlich groſse Kraft ohne Ende Widerstand leisteten, und nach aufhörender Einwirkung derselben ihr ursprüngliches Volumen wieder erhielten. In diesem Sinne ist kein Körper vollkommen elastisch, und ihre gröſsere oder geringere Elasticität wird nach der Stärke des Widerstandes gemessen, welchen sie den ihr Volumen ver-

1 Musschenbroek Introd. §. 763.

2 Harmonic. L. III. prop. 13.

3 S. Coulomb's Versuche bei Biot Traité. I. 501.

4 Vergl. unten *Elasticität der Flüssigkeiten.*

ändernden Kräften entgegensetzen. So hat eine Stahlfeder e sehr hohe, ein Blech aus Zinn oder Blei eine sehr geringe E sticität. Feste Körper zeigen sich in dieser Hinsicht vorzüg merkwürdig. Alle sind nämlich elastisch, und in der ers Bedeutung des Wortes auch in so fern anscheinend vollkomn elastisch, als sie bei einer geringen und kurzdauernden Ver derung ihrer Form diese vollständig wieder herstellen. Wäc aber die ihre Form verändernde Kraft, so wächst zwar a der Widerstand, welchen sie derselben entgegensetzen, all nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus derse entweder ganz aufhört, indem sie zerbrechen, wie z. B. Glas, oder geringer wird, und die Körper bei nachlassen Einwirkung ihr voriges Volumen nicht wieder erhalten. F alle Körper nämlich, mindestens die meisten Metalle, wenn als Drähte um ihre Längenaxe gedreht, ausgedehnt oder geb gen werden, kommen über diejenige Grenze hinaus, bis zu w cher sie ihre vorige Gestalt völlig wieder annehmen, ohne d dennoch ihre Cohäsion hierdurch überwunden wird, außer d Glas, welches nach ROBISON [1] früher bricht, als es über dies Punct hinaus kommt. Die Elasticität der Körper hat daher ei gewisse Grenze, und wenn sie über diese hinaus beschwert we den, so zerbrechen sie entweder sogleich, oder geben der ei wirkenden Kraft stets mehr nach, bis der Zusammenhang ihr Theile überwunden wird, welches Letztere dann am leichtest geschieht, wenn eine Biegung abwechselnd nach verschieden Seiten wiederholt wird, weswegen man z. B. Drähte abbric indem man sie nach entgegengesetzten Seiten krumm biegt [2].

Ob die flüssigen Körper in der angegebenen Bedeutung d Wortes vollkommen elastisch sind, ist schwer zu entscheide Die *tropfbaren Flüssigkeiten* zuerst lassen sich durch einen seh großen Druck nur wenig zusammendrücken, und ihr Wider stand scheint hierbei der zusammendrückenden Kraft jederze proportional. Ließen sie sich sämmtlich in feste Körper ve wandeln, und wären sie in diesem Zustande sämmtlich dicht als im flüssigen, so müßten sie durch fortgesetzte Zusammen drückung zuletzt fest werden, und den Gesetzen der festen Kör

1 a. a. O. p. 376.

2 Vergl. Coulomb in Mém. de l'Ac. 1784. p. 265. Tredgol Practical Essay on the strength of cast Iron. Lond. 1824. p. 2.

per unterliegen. Allein auch bei diesen letzteren zeigt sich die Grenze ihrer Elasticität nur dann, wenn sie nach der Länge ausgedehnt, gebogen, gedreht, oder so zusammengedrückt werden, dafs ihre Theile getrennt werden und seitwärts ausweichen können, indem sie, der einwirkenden Gewalt nachgebend, sich zerdrücken lassen. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist Letzteres unmöglich, indem sie stets in einen begrenzenden Raum eingeschlossen seyn müssen. Werden feste oder flüssige Körper unter dieser ebengenannten Bedingung zusammengedrückt, so läfst sich wegen der ungeheuern, hierzu erforderlichen Kraft durch die Erfahrung nicht ausmitteln, ob sie der zusammendrükkenden Kraft einen derselben stets proportionalen Widerstand entgegensetzen, oder vollkommen elastisch sind; wir wissen blofs, dafs sie insgesammt dichter werden [1], und können aus theoretischen Gründen blofs schliefsen, dafs dieses nach der atomistischen Ansicht so lange fortdauern wird, bis sie den Zustand vollkommener Dichtigkeit erreicht haben, welchen wir indefs nicht kennen, und also darüber nichts zu entscheiden vermögen.

Die expansibelen Flüssigkeiten endlich sind bis so weit vollkommen elastisch, als das *Mariotte'sche Gesetz* reicht. Indem dieses aber nicht allgemein gültig seyn kann, und auch die Erfahrung ergeben hat, dafs gewisse Gasarten durch wachsenden Druck tropfbar flüssig werden, der Analogie nach aber geschlossen werden kann, dafs dieses bei allen unter den geeigneten Bedingungen der Fall seyn wird [2], so läfst sich auch diesen Körpern die Eigenschaft der vollkommenen Elasticität nur bis so weit beilegen, als sie den Zustand der Expansion beibehalten.

II. Nähere Untersuchung der Elasticität.

Aufser diesen allgemeinen Betrachtungen ist es erforderlich, die Erscheinungen und Gesetze der Elasticität etwas näher zu untersuchen, und zwar zuerst, wie sie sich bei festen Körpern zeigen.

A. Feste Körper.

1. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zuerst, wenn man dieselben nach ihrer Länge ausdehnt. Hierüber sind al-

---

1 Vergl. *Dichtigkeit.*

2 Vergl. *Gas.*

lerdings viele Versuche angestellt, jedoch zunächst blofs in d Beziehung, um die absolute Cohäsion der verschiedenen Kö per, also das Maximum desjenigen Gewichtes zu bestimme welches sie zu tragen vermögen, ohne zu zerreifsen, oder m: hat gesucht, in näherer Beziehung auf die Elasticität, diejeni; Last aufzufinden, wodurch sie nicht weiter ausgedehnt werde als dafs sie sich bei nachlassender Dehnung wieder zu ihre ursprünglichen Volumen zusammenziehen. Beide Arten vo Untersuchungen, in Beziehung auf die Festigkeit der Körp von gröfster Wichtigkeit, sind bei der Aufsuchung der Cohäs onsgesetze [1] benutzt. Eigentliche Untersuchungen über die Ge setze der Elasticität bei der Spannung der Körper nach ihr Länge, namentlich bei Metallsaiten, sind indefs nicht zahlreic vorhanden. Unter die vorzüglichern gehören die von s'Gra vesande [2]. Die Saiten, deren Elasticität er untersuchen wollt

Fig. 21. wurden von dem Brette M N zwischen zwei Klemmen vermit telst der Schrauben V V' festgehalten, und so stark gespann dafs sie eine gerade Linie bildeten. Wird eine solche Sait A B dann in der Mitte mit einem Gewichte beschwert, so ver längert sie sich, und nimmt die Gestalt A C B an, und dies Verlängerung kann gemessen werden, wenn man die Sehne C kennt. Zu diesem Ende schob s'Gravesande auf die Mitt der Saite das kleine Kupferblech o n, durch dessen oberes Lö chelchen o die Saite gezogen war, am unteren Ende n aber hin mittelst eines Häkchens die kleine Waagschale W, welche mi verschiedenen Gewichten beschwert die Saite tiefer herabdrückte Um das kleine Blech o n nebst der Waagschale W zu balanciren, war am oberen Ende des ersteren ein feiner Faden f angebracht, über die Rolle r geschlungen, und durch das Gegengewicht p balancirt. An der Rolle war zugleich der in seinem Schwerpuncte genau balancirte Zeiger d b befestigt, welche mit seiner Spitze die Grade auf dem getheilten Kreise F G durchlief, und dadurch anzeigte, wie tief die Waagschale mit verschiedenen Gewichten beschwert herabgesunken war, welches die Gröfse c C angab. Damit diese Messung genau wird, zieht man nach Wegnahme der Saite A B die Waagschale W so-

1 S. *Cohäsion.*

2 Phys. Elem. math. I. p. 375. In der Darstellung folge ich Biot Traité. I. 470 ff.

weit herab, daſs sie den Boden genau berührt, beobachtet den Stand des Zeigers, legt unter die aufgehobene Waagschale einen Körper von genau gemessener Dicke, bringt sie mit diesem wieder in Berührung, und zählt die vom Zeiger durchlaufenen Grade.

Zu seinen Versuchen nahm s'Gravesande Claviersaiten 34,5 Z. lang und von einer Dicke, daſs diese Länge 24 Gran wog. Er gab derselben drei verschiedene Spannungen, indem er sie zwischen der Klemme V festschrob, und am andern Ende durch Gewichte straff ziehen lieſs, ehe er die Schraube V′ anzog. Durch verschiedene, in die Waagschale gelegte Gewichte drückte er dann die Saite um 0,04 bis 0,4 Z. herab. Um hieraus die Elasticität zu berechnen, muſs man auſser der Sehne c C noch das Gewicht P kennen. Dabei läſst sich annehmen, daſs die beiden Theile A C und C B einander an Länge = R und an Spannung = T gleich sind, indeſs muſs auſser dem Gewichte P auch noch das sehr geringe Gewicht der Saite selbst mit in Rechnung genommen werden. s'Gravesande nimmt an, daſs die beiden Theile C A und C B einander gleich und gerade sind, und auf die beiden Unterstützungen A C und B C drücken. Wäre die Saite horizontal, so könnte man annehmen, daſs jeder Punct die Hälfte des ganzen Gewichtes, mithin C als doppelter Unterstützungspunct die Hälfte des Gewichts der ganzen Saite oder 12 Gran der gebrauchten trüge, und da die Sehne c C gegen die ganze Länge der Saite sehr klein ist, so läſst sich diese Voraussetzung auch bei der Berechnung als der Wahrheit genähert annehmen. Die von s'Gravesande aufgelegten Gewichte waren eine, zwei, drei und vier Drachmen, und da das eigene Gewicht der Saite 12 Gran = 0,2 Drachmen betrug, so war das gesammte Gewicht = P + 0,2 in Drachmen. Dieses Gewicht wurde balancirt durch die Elasticität der Saite = T oder ihrer beiden Theile A C und B C, welche aber nicht directe dem niederdrückenden Gewichte entgegenwirkten, sondern im Verhältnisse des Cosinus Â B c, welcher $= \frac{Cc}{AC}$ oder $\frac{Cc}{BC}$ ist. Es wurde aber oben C c durch F und A C durch R bezeichnet, die Elasticität oder die Spannung der Saite aber durch T, folglich ist T $\frac{F}{R}$ der Widerstand, welchen die Spannung jedes Armes, A C und B C in der Rich-

Fig. 21.

tung Cc äufsert, und das Gleichgewicht wird hergestellt seyn, v die spannende Kraft P + 0,2 der Summe der Widerstände gl ist, welches $\frac{2TF}{R} = P\ 0{,}2$ giebt, wenn P in Drachmen gedrückt wird, woraus dann $T = \frac{(P + 0{,}2) R}{2F}$ gefunden v

Um hierin R zu finden, darf man nur berücksichtigen, dafs Figur zwei rechtwinkliche Dreiecke bildet, in deren jedem A C B C die Hypotenuse ist. Hieraus folgt, wenn A B = 2 L

$$R^2 = L^2 + F^2 \text{ oder } R = \sqrt{(L^2 + F^2)}$$

und wenn man berücksichtigt, dafs die Sehne F in den Versuc stets gegen L sehr klein war, so kann man $(L^2 + F^2)^{\frac{1}{2}}$ in eine ge gend convergirende Reihe entwickeln, und in genähertem We

$$R = L\left(1 + \frac{F^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}} = L + \frac{F^2}{2L} - \frac{F^4}{8L^3}$$

setzen. In s'Gravesande's Versuchen war 2 L = 34,5 Z. die gröfste Sehne c C = 0,4 Z., welches

$\frac{F^2}{2L} = 0{,}00463768$ und $\frac{F^4}{8L^3} = 0{,}0000006234$ giebt, und die letztere Gröfse so klein ist, so kann

$$R = L + \frac{F^2}{2L} = L\left(1 + \frac{F^2}{2L^2}\right)$$

gesetzt werden, welches in die obige Gleichung substituirt

$$T = \frac{(P + 0{,}2) L}{2F}\left(1 + \frac{F^2}{2L^2}\right) \text{ giebt.}$$

Ist die Saite nicht schwerer als die von s'Gravesande gebrauch so ist $\frac{E^2}{2L^2} = 0{,}0002688$, welches bei dem gröfsten gebrauc ten Gewichte von 86 Drachmen oder 5160 Gran nur $5160 \times 0{,}00026 = 1{,}34$ Gran, oder eine hierbei verschwi dende Gröfse beträgt, und füglich vernachlässigt werden kan so dafs also $T = \frac{(P + 0{,}2) L}{2F}$ oder für $L = \frac{34{,}5}{2}$ Z. genau g nug $= 8{,}622 \frac{(P + 0{,}2)}{F}$ gefunden wird.

In den drei Versuchen von s'Gravesande bei verschied nen Spannungen der Saite waren

Spannungen der Saite	Gewichte in Drachmen $P + 0,2$	Länge der Sehne in Zollen $= F$
Geringere Spannung	3 36	0,04 0,40
Stärkere Spannung	8 70	0,05 0,40
Stärkste Spannung	8 86	0,04 0,40

Werden aus diesen drei Reihen die Spannungen zuerst für die geringeren Gewichte berechnet, so erhält man

1. Reihe ... $T = \frac{3 \times 8{,}625}{0{,}04} = 646{,}875$ Drachmen

2. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}05} = 1380{,}000$ — —

3. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}04} = 1725{,}000$ — —

Für die größeren Gewichte erhält man auf gleiche Weise in Drachmen

1. Reihe ... $T' = \frac{36 \times 8{,}625}{0{,}4} = 776{,}250 = T + 129{,}375$

2. Reihe ... $T' = \frac{70 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1509{,}375 = T + 129{,}375$

3. Reihe ... $T' = \frac{86 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1854{,}375 = T + 129{,}375.$

Diese Versuche ergeben, daſs die reagirenden Elasticitäten einer Metallsaite für gleiche Vermehrungen der Spannung, von welcher früheren man ausgeht, einander gleich sind, und da die Sehne bei allen drei vermehrten Gewichten 0,4 Z. betrug, so waren auch die absoluten Verlängerungen der Saite einander gleich, welches zu dem Satze führt, daſs wenn eine Metallsaite durch irgend ein Gewicht $= T$ gespannt ist, eine Vermehrung des Gewichtes $= t$ eine gleiche Verlängerung der Saite hervorbringen wird, welches auch die frühere Spannung durch T seyn mochte, vorausgesetzt, daſs die Saite nicht über die Grenze ihrer Elasticität hinaus ausgedehnt wurde, welches sich dadurch zeigt, daſs sie bei nachlassender spannender Kraft stets wieder zu ihrer ursprünglichen Länge zurückkehrt. Wenn man also unter

dieser letzteren Bedingung einer Saite durch irgend eine K
die Spannung T giebt, wodurch ihre Länge = L wird,
der Kraft fortwährend neue hinzufügt, deren jede eine Verm
rung der Spannung = t und der Länge = l erzeugt, so gehe
zu den Spannungen T; T + t; T + 2t.... T + nt
Längen L; L + l; L + 2l.... L + nl, also sind
*Vermehrungen der Längen den Spannungen direct p
portional.*

Den hieraus folgenden, für das Wesen der Elasticität s
wichtigen Satz hat zuerst R. Hooke[1] als allgemein gültig a
gestellt, indem er es anfangs als Chiffer nach der Reihenfol
der Buchstaben bekannt machte, nämlich ceiiinosssttuu
und dieses später erklärte: *ut tensio sic vis.* Alle später
Untersuchungen haben dieses Gesetz bestätigt, vorausgeset
dafs die Spannung der Körper nicht weiter geht, als soweit ih
Elasticität vollkommen scheint, indem ihre Theile über die
Grenze hinaus eine andere Lage gegen einander annehmen, un
sich zwar elastisch zeigen, aber nicht wieder zu ihrem anfäng
lichen Volumen zurückkommen[2]. Eben dieses Gesetz gilt auc
bei der Zusammendrückung der Körper, und es ist also übe
flüssig, die Erscheinungen der Elasticität für diesen Fall beson
ders zu untersuchen[3].

Aus den Versuchen von s'Gravesande über Saiten, welch
an beiden Enden befestigt sind, alsdann angezogen werden un
pendelartig schwingen, folgt, dafs die Schwingungen isochro
nisch erfolgen, wie grofs auch der durchlaufene Bogen seyn
mag, ein bekannter Satz der Mechanik. Sind die Saiten ähnlich
und gleich gespannt, aber von ungleicher Länge, so verhalten
sich die Schwingungszeiten wie die Längen; sind sie übrigens
gleich, aber von ungleicher Dicke, so verhalten sich die Zeiten wie die Durchmesser. Nennt man daher allgemein bei zwei
gleichartigen Saiten P und p die spannenden Kräfte, L und l die
Längen, D und d die Durchmesser, T und t die Schwingungszeiten, so ist

$$\frac{L^2 D^2}{T^2 P} = \frac{l^2 d^2}{t^2 p}.$$

1 Philos. Tracts and Collections. Lond. 1679. 4. Lect. of Springs. L. C.

2 Tredgold practical essay on the strength of cast iron. Lond. 1824. 117.

3 Young Lectures on Nat. Phil. I. 137.

Indem ferner bei Saiten ihre Massen, und somit auch ihre Gewichte sich verhalten wie die Producte ihrer Längen in die Quadrate ihrer Durchmesser, also, wenn ihre Gewichte G und g heifsen,

$G : g = LD^2 : ld^2,$

so ist auch $\frac{LG}{T^2 P} = \frac{lg}{t^2 p}$

oder $T^2 : t^2 = \frac{LG}{P} : \frac{lg}{p}$

das heifst: *die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten sich wie die Producte der Längen in die Gewichte und umgekehrt wie die spannenden Kräfte.* Bei elastischen Blechen und Streifen finden die nämlichen Gesetze statt, weil man sie als vereinigte Saiten ansehen kann.

Auch mit dünnen Blechen stellte s'GRAVESANDE Versuche an, und gebrauchte dazu den oben beschriebenen Apparat. Er nahm nämlich eine nicht aufgewundene Uhrfeder, gleichfalls 34,5 Z. lang und 67 Gran schwer. Auch hierbei mufs also die Hälfte dieses Gewichtes zu dem in der Waagschale = P addirt werden, um die gesammte drückende Kraft zu finden. Bei der Kleinheit dieses Gewichtes gegen P nahm indefs s'GRAVESANDE in genähertem Werthe nur 30 Gran, oder 0,5 Drachme, um das Ganze in Drachmen auszudrücken, und sonach wird für lange Bleche

$$T = \frac{(P + 0{,}5)\ 8{,}625}{F}$$

wenn die übrigen Bezeichnungen, wie oben für Metalldrähte beibehalten werden.

Vier Reihen von Beobachtungen gaben folgende Gröfsen:

Spannungen des Bleches	Gewichte in Drachmen P + 0,5	Länge der Sehne in Zollen = F
Geringe Spannung	20 144	0,10 0,40
Stärkere Spannung	32 192	0,10 0,40
Noch stärkere Spannung	64 430	0,07 0,40
Stärkste Spannung	64 492	0,06 0,40

Diese Resultate nach der angegebenen Formel berecl geben folgende Werthe:

1. Reihe $T = 1725$; $T' = 3105 = T + 13$
2. Reihe $T = 2760$; $T' = 4140 = T + 13$
3. Reihe $T = 7885{,}71$; $T' = 9271{,}87 = T + 13$
4. Reihe $T = 9200$; $T' = 10608{,}75 = T + 14$

Die geringen Differenzen kommen als Theil des Total wichtes in Betrachtung, indem sie nicht mehr Hunderttheile d selben betragen würden, und man darf daher die Zunahn der Spannung allgemein = 1380 setzen, welches, wie bei Saiten eine Vermehrung der Länge = 0,00927536 Z. betr so dafs also auch hieraus das oben gefundene Gesetz hervorg wonach die Verlängerung der spannenden Kraft proportio ist. Solche Bleche lassen sich daher als eine Zahl neben ein der liegender Drähte ansehen.

Wenn man diesemnach das hier aufgestellte Gesetz, nä lich dafs bei der Ausdehnung sowohl als auch bei der Zusa mendrückung der verschiedenen Körper derjenige Widersta welchen sie vermöge ihrer Elasticität der einwirkenden Kr entgegensetzen, dieser letzteren so lange direct proportion und ihre Verlängerung oder Verkürzung diesemnach der Z nahme der Gewichte gleich ist, so lange sie nicht über Grenze ihrer Elasticität hinaus beschwert werden, so ist für die praktische Anwendung vorzüglich nützlich, für die v schiedenen Körper von einer gegebenen Dimension diejenig Lasten durch Versuche aufzufinden, durch welche sie bis dieser Grenze gebracht werden[1], und den aliquoten Theil d Vermehrung oder Verminderung ihrer Länge, welcher dies Gewichte zugehört. Beide Gröfsen hat man durch die zahlreic sten Versuche über die absolute Festigkeit der Körper zu b stimmen von jeher sich eifrigst bemühet, indem sie aber bei d Untersuchungen über die Cohäsion schon ausführlich erwäh sind, so darf ich hier nur auf jenen Artikel verweisen[2].

---

1 T. Young Lectures I. 141. sagt: A permanent alteration form limits e strength of materials with regard to practical purpo almost as much as fracture, since in general de force which is capal of producing this effect, is sufficient, with a small addition, to i crease it till fracture takes place.

2 S. *Cohaesion* II. 153 u. 164.

2. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zweitens, wenn dieselben mit beiden Enden auf einer festen Unterlage liegend in der Mitte, oder an einem Ende festgeklemmt am andern durch eine Last niedergebogen werden. Versuche hierüber sind in Menge angestellt, meistens aber nur gelegentlich, wenn man die relative Festigkeit erforschen wollte. Unter die absichtlich angestellten Versuche gehören die von Coulomb[1], welcher ein Stahlblech nahm, 11 Lin. breit 0,5 Lin. dick, dieses an einer Seite zwischen zwei eisernen Platten festklemmte und mit einer Klemmschraube an einem Tische in horizontaler Lage befestigte, an das andere Ende aber in einer Entfernung von 7 Z. ein Gewicht fügte und die Theile, um welche der Stahlstreifen niedergebogen wurde, an einer getheilten Scale maſs. Die gebrauchten Gewichte waren 0,5; 1 und 1,5 ℔, welche den gehärteten und nachher den bis zur blauen Farbe angelassenen Streifen 8; 15,5 und 23 +. Lin. herabdrückte, woraus also abermals hervorgeht, daſs die Elasticität der spannenden Kraft direct proportional ist. Viele ähnliche Versuche hat Beaufoy zugleich mit den Untersuchungen über die relative Festigkeit der Körper verbunden, und sich dazu der oben[2] beschriebenen Maschine bedient, welche wohl ohne Zweifel die zweckmäſsigste ist, indem der Zeiger genau die durchlaufenen Bogen angiebt, und der zu prüfende Stab allezeit in gleicher Entfernung von seinem Stützpuncte und in lothrechter Richtung auf sein eines Ende durch das Gewicht niedergedrückt wird. Auſserdem wird die Berechnung sehr dadurch erleichtert, daſs man durch das Gegengewicht sowohl das aufgesteckte Bogenstück und die Waagschale, als auch das eigene Gewicht des untersuchten Stabes balanciren kann, und demnach bloſs die angehängten Gewichte zu beachten hat. Obgleich Beaufoy zunächst nur dasjenige Gewicht zu bestimmen suchte, wodurch die verschiedenen Stäbe zerbrochen wurden, so hat er zugleich doch auch das allgemeine Gesetz bestätigt gefunden, daſs die Biegungen innerhalb der Grenze der unveränderten Elasticität den drückenden Kräften direct proportional sind.

Verschiedenes, in Beziehung auf die Elasticität Wichtiges ist erörtert durch Tredgold bei einem erst neuerdings bekannt

---

1 Mém. de l'Ac. 1784. 266. Biot Traité I. 509.

2 Vergl. *Cohäsion* II. S. 151.

gewordenen Versuche über das Verhalten des Stahls bei schiedenen Graden der Härtung. Coulomb schloſs nämlich seinen oben erwähnten Versuchen, daſs die elastische Kraft Stahls bei verschiedenen Graden der Härtung gleich sey, eben dieses folgerte Th. Young aus seinen Beobachtun schwingender Stäbe [1]. Um diesen Satz zu prüfen, bediente Tredgold [2] einer Vorrichtung, welche mit der von s'Gravesande gebrauchten groſsen Aehnlichkeit hat, mit dem Unterschiede, daſs bei derselben die zur Untersuchung bestimm Stahlstäbe auf Unterlagen von Eisen gelegt wurden. Der Stab von gemeinem Stahl *(blistered steel)* war 0,95 engl breit, 0,375 Z. dick und lag auf 13 Z. von einander abstehen Unterlagen. Bei vier verschiedenen Graden der Härtung, feilenharten, der tiefstrohgelben, der federblauen und g weich gemacht, zeigte der Stab gleiche Elasticität, s herab mit 54 ℔ beschwert um 0,02 Z.

— 82 — — — 0,03

— 110 — — — 0,04

und zeigte keine bleibende Beugung, wenn er auch durch letztere Gewicht einige Stunden hindurch beschwert bli Nimmt man mit geringer Abänderung die Reihenfolge die Gröſsen, so geben

27,5 ℔ eine Biegung = 0,01 Z.

2 × 27,5 = 55 ℔ — = 0,02 Z.

3 × 27,5 = 82,5 ℔ — = 0,03 Z.

4 × 27,5 = 110 ℔ — = 0,04 Z.

also ohne weitere Rechnung eine regelmäſsige Folge. I Stab wurde dann abermals stark gehärtet, zeigte die nämlich Biegungen, und es gaben ferner

300 ℔ eine Biegung von 0,115 Z.

350 ℔ — — — 0,130 Z.

580 ℔ brach der Stab.

Das erste Gewicht hätte nach der oberen Progression 0,109 Biegung geben müssen, indeſs scheint hierbei der Stab sch über die Grenze seiner vollständigen Elasticität belastet gewes zu seyn, denn 350 ℔ gaben ihm eine bleibende Biegung v 0,005 Z., welche durch 10 ℔ Vermehrung bis 0,01 Z. zunah

1 In dessen Lectures II. 403.

2 Phil. Trans. 1824. II. 354.

Um mit einem längeren Stabe die feineren Unterschiede besser beachten zu können nahm Tredgold einen anderen Stab, von demselben Stahl, 0,92 Z. breit 0,36 Z. hoch, und entfernte die Unterlagen bis 24 Z. Zuerst wurde derselbe so weich gemacht, dafs er der Feile nachgab, und in diesem Zustande bewirkten

18,6 ℔ eine Biegung von 0,05 Z.
37 — — — — 0,10 —
47 — — — — 0,127 —

Nachdem der Stab gehärtet war, erhielt Tredgold die nämlichen Resultate. Er wurde dann strohgelb angelassen, und es gaben

47 ℔ eine Biegung von 0,127 Z.
85 ℔ — — — 0,230 —
130 ℔ — — — 0,350 —
150 ℔ — — — 0,400 —

Nimmt man hierbei 37 ℔ als Einheit; so gehört zu 130 ℔ eine Biegung von 0,351 Z. Bei dieser Belastung zeigte der Stab noch keine bleibende Veränderung, wohl aber bei 150 ℔, und zwar = 0,012 Z. Die Belastung wurde fortgesetzt, und es gaben

185 ℔ eine Biegung von 0,50 Z.
385 ℔ — — — 1,04 —.

Es ist merkwürdig, dafs beide Gröfsen die obige Reihenfolge genau geben, denn zu 185 ℔ gehören 0,500 und zu 385 ℔ 1,0405 Z., woraus folgt, dafs bei gestähltem Stahle, wie etwa auch beim Glase, die Elasticität bis zum Zerbrechen desselben stets regelmäfsig bleibt. Bei der letzten Belastung nämlich hörte man nach einer Minute ein leises Knacken, und ohne Vermehrung des Gewichtes brach der Stab nach 15 Minuten. Ausgemacht ist aber durch diese Versuche, dafs die elastische Kraft des Stahls bei jeder Härtung desselben gleich ist; es verhält sich aber die Festigkeit desselben bis zu derjenigen Grenze, wobei er eine bleibende Veränderung erleidet, zu der absoluten Festigkeit bei hartem Stahl wie 1 : 1,66; bei strohgelb angelassenem aber wie 1 : 2,56.

Von den übrigen zahlreichen Versuchen zur Bestimmung der relativen Festigkeit der Körper, bei denen zugleich die Gröfse ihrer Elasticität beobachtet wurde, können nur einige der wichtigsten hier namhaft gemacht werden. Dahin gehören die von

John Banks[1] mit Stäben von Gufseisen, welcher fand, diese sämmtlich 3 engl. F. lang um 1 engl. Z. herabsanken, eh zerbrachen, welches nebst der regelmäfsigen Zunahme der gung auf eine vorzüglich elastische Sorte schliefsen läfst. F delet[2] hat viele Versuche mit Stäben von 3,83 und 1,91 Länge zwischen den Unterlagen angestellt, woraus hervorg dafs die Biegung nur so lange regelmäfsig wächst, als der I per nicht über die Grenze seiner Elasticität beschwert w Diese Grenze liegt indefs oft bei den nämlichen Körpern ungleich entfernt, was sich aus der verschiedenen Beschaf heit derselben erklären läfst. So fand Tredgold, dafs Schn deeisen sich um 0,000714 seiner Länge ausdehnen läfst, eh über die Grenze seiner Elasticität hinaus kommt, Duleau[3] fand unter seinen zahlreichen Versuchen diese Gröfse ein = 0,000441 als Minimum, ein anderesmal = 0,001167 Maximum.

Viele Versuche mit einem zweckmäfsigen Apparate G. Rennie[4] angestellt, am zahlreichsten und genauesten al jedoch blofs mit Gufseisen, sind die von Tredgold[5], welc zugleich auch fremde Versuche verglichen, und aus einer Re derselben dasjenige Gewicht gefunden hat, wodurch Gufsei bis zur Gränze seiner Elasticität belastet werden darf, näml $\frac{10}{27}$, in einer andern $\frac{10}{24}$ derjenigen Last, wodurch dasselbe z rissen wird, eine Bestimmung, welche mit der aus Bank's u Rennie's Versuchen erhaltenen übereinstimmt. Tredgold u tersuchte auch das Verhalten des geschmiedeten Eisens. Hie nahm er Stäbe von nahe 1 Quad. Z. Querschnitt und 6 F. Län legte sie auf Unterlagen, welche 66,5 engl. Z. von einan abstanden, beschwerte sie mit verschiedenen Gewichten, u erhielt folgende Biegungen derselben gleichfalls in englisch Zollen:

---

1 On the Power of Machines, Kendal 1803. S. 96.

2 Traité Théorique et Pratique sur l'Art de Bâtir. Par. 18 VI Tom. 4. IV. 514.

3 Essay théorique et expérimental sur la résistance du Fer forg Par. 1820. 4.

4 Phil. Trans. 1818. 1.

5 Practical Essay on the strength of cast Iron. S. 66 ff.

1. Bei englischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
33 ℔ — —	0,0625	0,10	0,1875
25 — — —	0,1250	0,25	0,3750
20 — — —	0,1500	0,32	0,5000
24 — — —	0,1250	0,25	0,3750
17 — — —	0,2500	0,50	0,8000

2. Bei schwedischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
32 ℔ — —	0,0625	0,125	0,190
27 — — —	0,0800	0,161	0,250
33 — — —	0,1250	0,250	0,375

Auch ohne nähere Berechnung sieht man bald, dafs das angegebene Gesetz durch die hierbei erhaltenen Gröfsen gleichfalls bestätigt wird. Dafs aber die Biegungen ungleich werden und unregelmäfsig wachsen, sobald die Körper über die Grenze ihrer Elasticität belastet werden, ersieht man deutlich aus denjenigen Versuchen, welche Tredgold mit Stäben von Glockenspeise anstellte, welche 0,5 Z. hoch, 0,7 Z. breit waren und auf Unterlagen von 12 Z. Abstand ruheten.

Sie gaben mit folgenden Gewichten die denselben zugehörigen Biegungen in engl. Zollen.

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen.
19 ℔	0,01	120 ℔	0,06
38 —	0,02	200 —	0,17
56 —	0,03	230 —	0,34
78 —	0,04	320 —	3,00
100 —	0,05		

So lange die Last nicht mehr als 100 ℔ betrug, wurde sie wiederholt abgenommen, ohne dafs eine Biegung merklich war, so oft aber die 120 ℔ aufgelegt und wieder weggenommen wurden, zeigte sich eine bleibende Biegung von 0,005 Z. Ein Stab von gegossenem Messing 0,45 Z. dick 0,7 Z. breit und auf 12 Z.

entfernten Unterlagen ruhend, gab mit folgenden Gewich
beschwert die zugehörenden Biegungen in engl. Zollen

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen,
12 ℔	0,01	52 ℔	0,04
23 —	0,02	65 —	0,05
38 —	0,03	110 —	0,18

Bei 52 ℔ Belastung zeigte der Stab nach der Wegnah keine bleibende Biegung.

Diejenige Curve, welche ein elastischer, an beiden En unterstützter, durch ein aufgelegtes oder sein eigenes Gewi herabgezogener Stab, oder ein an einem Ende eingeklemm horizontaler, am andern Ende mit einem Gewichte belaste bildet, heifst die elastische Curve (*curva elastica*; cour elastique; *elastic curve*). Sie ist untersucht du JACOB BERNOULLI[1], und später durch seinen Neffen DAN BERNOULLI[2] durch L. EULER[3] und andere. Ist der an beid Enden befestigte, durch sein eigenes Gewicht herabgezog Körper eine vollkommen biegsame Linie (eine Kette), so die entstehende Curve eine Kettenlinie (*catenaria*; chainett *catenary*) welche mit ihr verwandt und vielfach untersu ist[4]. Sie gehören in das Gebiet der Mathematik.

3. Die Elasticität der Körper zeigt sich ferner durch d Widerstand, welchen sie einer Drehung um ihre Axe entgege setzen (force de réaction de torsion, élasticité torsion; *resistance to torsion, against twisting* Dieser Gegenstand kommt vielfach in Betrachtung, theils Grundlage der Drehwaage[5], theils bei der Construction Wellen und Bäume der Maschinen, welche mit grofserer oc geringerer Kraft um diese ihre Längenaxe gedrehet werd

---

1 Acta Erud. 1694. u. 1695.

2 Acta Petrop. 1729.

3 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate g dentes. Genev. 1744. 4. Addit. II. Com. Pet. III. 70. Acta Petrop. II. 188. Lexel ebend. V. II. 207.

4 Joh. Bernoulli in Acta Erud. 1791. Bernoulli Opp. I. 48. III. 4 Gregory in Phil. Trans. XIX. 637. XXI. 419. Clairaut Mém. de Berl VII. 270. Kraft N. Com. Pet. V. 145. Legendre Acta Pet. 17 20. u. v. a.

5 S. *Drehwaage.*

Hinsichtlich der ersteren haben wir die gehaltreichsten Untersuchungen von COULOMB[1], welche in der Hauptsache hier mitzutheilen nicht zweckwidrig seyn wird[2].

Die durch COULOMB befolgte Methode, die Elasticität langer Metalldrähte gegen eine Drehung um ihre Axe zu untersuchen, war folgende. Er hing an einen oben befestigten Draht SF einen Cylinder von Metall P so auf, dafs die Axe desselben Fig. 22
FR mit der des Drahtes eine gerade Linie bildete, brachte unten einen Zeiger RL, und unter demselben einen getheilten Kreis an. Wurde dann der Cylinder um seine Axe gedrehet, so durchlief der Zeiger die der Drehung zugehörigen Grade auf dem getheilten Kreise. Ist hiernach AB ein Stück dieses in B Fig. 23.
befestigten Drahtes, und wird derselbe so um seine Axe gedrehet, dafs ein Streif seiner Oberfläche aus der Lage MA in die Lage mX gebracht wird, also der Punct A mit der Axe den dem Winkel ACX zugehörigen Bogen durchlaufen hat, so werden die Puncte M, M_1, M_2, M_3 .... an die Oerter m, m_1, m_2, m_3 .... gerückt seyn, und vermöge der anziehenden Kräfte, welche die Festigkeit des Körpers bedingen, wieder an ihre frühere Stelle zu kommen sich bestreben. Eben dasjenige, was hier über den einen Theil der Oberfläche ausgesprochen ist, gilt von allen Theilen des ganzen Drahtes. Würde der Bogen AX verdoppelt, so würde die Abweichung eines jeden der genannten Puncte von seinem früheren Orte verdoppelt werden, und nach dem oben über das Verhältnifs der Elasticität aufgefundenen Gesetze würde auch die Reaction der Theile gegen die drehende Kraft doppelt seyn, folglich mufs auch der ganze Draht mit doppelter Kraft der Drehung entgegenstreben. Denkt man sich um die Axe des Drahtes einen mit seiner Oberfläche concentrischen Kreis gezogen, um auf diesem die Winkel der Drehung zu messen, nimmt man ferner einen diesem Kreise zugehörigen Radius als Einheit an, auf welchen eine horizontale Kraft = n wirkend den Draht durch den Bogen = X umdrehet, so wird diejenige Kraft, welche den Draht nach dieser Drehung zum Stillstande bringt, oder der Reaction des Drahtes das Gleichgewicht hält = nX seyn. Bezeichnet man die halbe Peripherie des Kreises durch π und führt einen Radius = R statt der an-

1 Mém. de l'Ac. 1784.

2 Nach Biot Traité. I. 483.

genommenen Eiuheit desselben ein, so ist die elastische K des Drahtes, welche der auf das Ende des an sich als n schwer gedachten Radius wirkenden drehenden Kraft entgeg strebt $= \frac{\pi n X^{\circ}}{180 R}$. Hörte die Kraft auf zu wirken, so wür die Theile des Drahtes sich wieder in ihr früheres Gleichgew zu setzen streben, der Winkel X also abnehmen, zuletzt = werden, dann aber vermöge der erhaltenen Bewegung nach entgegengesetzten Seite übergehen, bei vollkommener Elastic des Körpers und abgesehen vom Widerstande der Luft eine vorhergehenden positiven gleiche negative Gröſse erhalten, u so die Bewegung ohne Ende fortsetzen. Indem ferner die Krä welche den Körper sollicitiren, an den ursprünglichen Ort sei Ruhe zurückzukommen, dem Abstande von diesem Puncte dir proportional sind, so würden diese Oscillationen alle in gleich Zeiten geschehen, wie groſs auch der zu durchlaufende Bog seyn möchte.

Behalten n und R die angenommenen Bedeutungen, u heiſst M die Masse des oscillirenden Körpers, diese in ein einzigen Puncte vereinigt gedacht, π das Verhältniſs des Krei zu seinem Durchmesser oder 3,14 . . ., T aber die Zeit ei einfachen Schwingung, so ist nach mechanischen Gesetzen

$$T = \pi \sqrt{\frac{R^2 M}{n}}$$

Bezeichnet dann ferner dm ein Theilchen der Masse d Körpers, denkt man sich ein jedes in der Entfernung r vom Cent der Oscillation, und wird sonach die ganze Masse des Körp mit dem Quadrate dieses Abstandes multiplicirt durch $\int r^2 d$ ausgedrückt, so ist

$$T = \pi \left(\int \frac{r^2 dm}{n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Es ist aber für einen in seiner Axe lothrecht aufgehangene um seine, mit der des tragenden Fadens zusammenfallenden A oscillirenden Cylinder das Trägheitsmoment

$$\int r^2 dm = \frac{M a^2}{2}$$

wenn a den Halbmesser seiner Peripherie bezeichnet, und wer man statt des Cylinders einen dünnen Draht in der Mitte sein

2 Poisson Traité de Mécanique I. 402.

Länge an dem Faden oder der Saite horizontal schwebend befestigt,

$$\int r^2\, dm = \frac{M l^2}{3}$$

wenn l die halbe Länge desselben bezeichnet, und so erhält man für diese beiden Fälle die zwei Gleichungen

$$T = \pi \sqrt{\frac{M a^2}{2 n}} \text{ und } T = \pi \sqrt{\frac{M l^2}{3 n}}.$$

deren man sich zur Erforschung der Elasticität eines um seine Axe gedreheten Drahtes nach Coulomb's Methode bedienen kann.

Um in dieser Formel die Oscillationen gegebener Massen auf bestimmte Bewegungen in bekannten Zeiten zurückzubringen, darf man nur berücksichtigen, daſs bei fallenden und somit auch pendelartig oscillirenden Körpern die Geschwindigkeit $C = 2gt$ ist, wenn t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g denjenigen Raum bezeichnet, welchen ein Körper in einer Secunde frei herabfällt. Wird die Gröſse g, im Mittel = 15,1 Par. F., in dem nämlichen Maſse ausgedrückt, worin a und l in den angegebenen Formeln genommen sind, M aber durch das Gewicht, und daher = P gesetzt, so wird für einen an dem Drahte aufgehangenen Cylinder:

$$n = \frac{P \pi^2 a^2}{4 g T^2} \text{ und also } T = \pi a \left(\frac{P}{4 g n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

und für einen waagerechten Hebelarm:

$$n = \frac{P \pi^2 l^2}{6 g T^2} \text{ und also } T = \pi l \left(\frac{P}{6 g n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Coulomb bediente sich bei seinen Versuchen der Drähte von Messing und von Eisen mit einem an ihnen aufgehangenen Cylinder. Die Beschaffenheit derselben zeigt folgende Uebersicht:

	Nr.	Gewicht einer Toise	Absolute Festigkeit	
Eisen	12	5 Grains	3 ℔	12 Unzen
	7	14 —	10 —	0 —
	1	56 —	33 —	0 —
Messing	12	5 —	2 —	3 —
	7	18,5 —	14 —	0 —
	1	66 —	22 —	0 —

Mit diesen erhielt er folgende Resultate.

	Nr.	Länge in Zollen	Gewicht des Cylinders in ℔	Grenze des Bogens für isochronische Schwingungen	Zeitdauer von 20 isochron. Schwingungen
Eisen	12	9	0,5	180	120
	12	9	2,0	180	242
	7	9	0,5	180	42
	7	9	2,0	180	85
	1	9	2,0	45	23
Messing	12	9	0,5	360	220
	12	9	2,0	360	442
	7	9	0,5	360	57
	7	9	2,0	360	110
	7	36	2,0	1080	222
	1	1	2,0	50	32

Indem der Durchmesser der aufgehangenen Cylinder stet 19 Lin. betrug, somit also a eine constante Gröſse ist, so muſ nach der Formel für n das Verhältniſs $\frac{P}{T^2}$ einen beständige Werth geben, oder die Zeiten müssen sich verdoppeln, wen das Gewicht vierfach wird. Daſs dieses so sey, geht aus de Versuchen hervor, indem das Verhältniſs der Gewichte vo 0,5 : 2,0 die Verhältnisse der Zeiten = 120 : 242; 42 : 85 220 : 442 und 57 : 110 mit der Formel nahe genug übereinstimmend giebt. Die gröſsere Ausdehnung der Saiten durch vermehrtes Gewicht hat also auf die Elasticität keinen Einfluſs eben wie bei s'Gravesande's Versuchen ohngeachtet einer gröſseren Spannung der Saiten gleiche Vermehrungen der Gewicht gleiche Vermehrungen der Herabdrückung hervorbrachten. Inzwischen darf die Drehung gleichfalls nicht so stark seyn, daſ die Theile des Körpers eine andere Lage bleibend annehme *(take a set)*, weil sonst n einen andern Werth erhält.

Der eine der erwähnten Versuche, wonach ein Messingdrah Nr. 7. von 9 Z. bei gleicher Länge des Cylinders für 20 Schwingungen 110, ein anderer von 36 Z. Länge hierzu 222 Secunden erforderte, ergiebt, daſs für ein Verhältniſs der Zeiten = 1 : ein Verhältniſs der Längen = 1 : 4 gehört, oder aber die Zeite

stehen im Verhältnisse der Quadratwurzeln der Längen, ein Satz, welchen COULOMB durch viele andere Versuche bestätigt fand[1]. Dafs ferner die Dicken der elastischen Fäden einen Unterschied herbeiführen, liegt schon in der Natur der Sache. Nimmt man aus den Versuchen die Resultate mit Drähten von gleicher Länge und gleicher Belastung, die Dicke derselben durch ihr Gewicht $= p$ ausgedrückt, so geben bei Eisendraht

Nr. 12 . . $p = 5$ gr., $T = 242$ Sec.
— 7 . . $p' = 14$ —, $T' = 85$ —
— 1 . . $p'' = 56$ —, $T'' = 23$ —

Sind die Gewichte und Schwingungszeiten einander umgekehrt proportional, so müssen die Producte pT, $p'T'$ . . . eine constante Gröfse geben. Wirklich ist $pT = 1210$; $p'T' = 1190$; $p''T'' = 1288$. Nimmt man aus allen das arithmetische Mittel $= 1230$, und sucht hiernach die Gewichte, so ist

Nr. 12 . . $p = \frac{1230}{242} = 5{,}08$ gr.
— 7 . . $p' = \frac{1230}{85} = 14{,}47$ —
— 1 . . $p'' = \frac{1230}{23} = 53{,}49.$ —

Die Abweichungen sind so geringe, dafs man sie als Fehler der Beobachtungen ansehen kann, insbesondere da der Unterschied bei Nr. 1 am stärksten ist, welcher Draht übrigens durch das Gewicht wahrscheinlich nicht hinlänglich gespannt wurde. Nimmt man unter der Voraussetzung der Richtigkeit dieses Gesetzes Drähte des nämlichen Metalles von gleicher Länge, so ist das Gewicht p derselben dem Quadrate der Durchmesser proportional, und somit sind die Zeiten der Oscillationen diesen Quadraten umgekehrt proportional, und da nach der oben aufgestellten Formel die Gröfse n den Quadraten der Zeiten gleichfalls umgekehrt proportional ist, so steht sie auch im umgekehrten Verhältnisse der 4ten Potenz der Durchmesser der Drähte[2]. Heifst also die Länge des Drahtes l, der Durchmesser desselben d und wird ein von der Steifheit des Metalles abhängiger Coefficient durch μ bezeichnet, so ist

$$n = \frac{\mu d^4}{l} \text{ also } \mu = \frac{n l}{d^4}.$$

wonach μ für ein beliebiges Metall gefunden werden kann, wenn

---

1 Ein gleiches Gesetz fand CHLADNI bei den Transversalschwingungen elastischer Stäbe. Vergl. *Schall*.

2 Auf eine andere Weise ist dieser Satz bewiesen in John Leslie Elements of Nat. Phil. Edinb. 1824. 8. I. 244.

man n l und d in einem gegebenen Falle gefunden hat. W
dieses auf den oben angegebenen zweiten Fall mit Eisend
Nr. 12 angewandt, worin P = 2 ℔, a = 9,5 Lin. und
20 Oscillationen T = 242″ also für eine Oscillation T = 12
waren, und werden diese Werthe in die Formel $n = \frac{P \pi^2}{4 g}$
substituirt, die Linie als Einheit des Längenmaſses und das Pf
als Einheit des Gewichtes angenommen, so ist $n = \frac{1}{714,7}$
d. h. diese letztere Gröſse, lothrecht gegen einen Hebelarm v
der Länge einer Linie wirkend, würde eine Saite von der ge
benen Länge und Beschaffenheit durch einen Bogen von
Länge einer Linie, den Kreis selbst mit dem Halbm
ser = 1 Lin. gezogen, um ihre Axe zu drehen im Stan
seyn. Wollte man sie aber um einen Bogen = X° vermitt
eines Hebelarmes = R drehen, so würde die dazu erford

liche Kraft $= \frac{\pi n X°}{180 R} = \frac{\pi X°}{714,7 \times 180 R}$ ℔ seyn.

Ist hiernach n bekannt, so wird μ aus der angegeben
Formel leicht gefunden, sobald der Durchmesser des Drahtes =
bestimmt ist, dessen Gröſse entweder durch unmittelbare Messu
gefunden, oder aus der Länge desselben, seinem Gewichte u
dem specifischen Gewichte der Substanz berechnet werden kan

Als Beispiel der Rechnung diene das von Biot[1] aus Co
lomb's Versuchen genau berechnete. Um hierbei zuvörde
den Durchmesser des angewandten Drahtes aus seinem Gewic
zu finden, sey A das Gewicht eines Kubikfuſses der Masse, wor
der Draht besteht, oder zur Reduction auf Linien als Einh
von $(144)^3$ Lin. Der Draht, als Cylinder betrachtet, hat e
Volumen $= r^2 \pi L$, wenn L die Länge, r den Halbmesser u
π die Verhältniſszahl des Kreises bezeichnet. Hiernach ist

$$r^2 \pi L = \frac{(144)^3 p}{A} \text{ und also } r = \sqrt{\frac{(144)^3 p}{\pi L A}}$$

wenn p, das Gewicht des Drahtes, und A in gleichen Gewicht
theilen genommen werden. Von dem Eisendraht Nr. 12 wog
6 F. oder 864 Lin. 5 grains = p. Ein Kubikfuſs Eisen wie
etwa 540 ℔, wonach (das ℔ = 16 Unzen, die Unze = 8 gro

1 a. a. O. S. 498.

das gros = 72 grains genommen) $A = 540 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 72$ grains beträgt. Dieses substituirt giebt

$$r = \sqrt{\frac{5 \cdot (144)^3}{3{,}14 \cdot 864 \cdot 540 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 72}} = \tfrac{1}{30} \text{ Lin.}$$

also ist $d = \frac{1}{15}$ Lin. Die Länge l des im Versuche gebrauchten Drahtes betrug 9 Z. oder 108 Lin. Diesen Werth, und den oben für n gefundenen $= \frac{1}{715}$ substituirt ist

$$\mu = \frac{n l}{d^4} = \frac{1}{715} \cdot \frac{108}{(\frac{1}{15})^4} = \frac{15^4 \cdot 108}{715} = 7646{,}9.$$

Für jeden andern Eisendraht von der nämlichen Beschaffenheit, aber vom Durchmesser $= d'$ und von einer Länge $= l'$ wäre also

$$n = 7646{,}9 \, \frac{d'4}{l'}.$$

Sucht man auf die nämliche Weise, wie dieses oben für Eisen geschehen ist, auch für Messing den Werth von n', so war für den Messingdraht Nr. 12 mit einem Cylinder von 2 ℔ Gewicht belastet

$a = 9{,}5$ Lin.; $P = 2$ ℔; $T = 22{,}1$ Sec.

Dieses in die Formel substituirt, wird

$$n' = \frac{P \pi^2 a^2}{4 g T^2} = \frac{1}{2384{,}2}.$$

Das Verhältniſs von n zu n' ist also 2384,2 : 714,7 oder nahe 3,34 : 1. d. h. man bedarf nur $\frac{1}{3{,}34}$ des Gewichtes, um einen Messingdraht unter gleichen Bedingungen auf gleiche Weise um seine Axe zu drehen, als für einen Eisendraht erforderlich ist. Die Elasticität des Eisendrahtes ist also rücksichtlich der Stärke des Widerstandes 3,3mal gröſser als des Messingdrahtes, obgleich seine absolute Festigkeit nur 1,7mal gröſser gefunden war.

Es ist oben [1] schon angeführt, daſs die elastischen Körper, wenn sie eingedrückt, gebogen oder gedreht werden, nicht allezeit mit vollkommener Elasticität und ohne einigen Verlust zur früheren Lage ihrer Theile wieder zurückkommen, eine Erscheinung, welche mit Grunde aus einer Reibung ihrer Theile an einander bei der Herstellung der ursprünglichen Lage, und aus der hierzu verwandten Kraft abgeleitet wird. So lange indeſs die einen Körper verändernde Kraft das Maſs seiner Ela-

1 S. *allgemeine Betrachtungen.*

sticität nicht übersteigt, wird er die ursprüngliche Lage se Theile wieder erhalten, soweit dieses durch Messung besti werden kann. Diesemnach mufs, rücksichtlick auf die sticität gegen Drehung, ein an einer lothrecht aufgehang Saite oscillirender Körper stets kleinen Bogen durchlaufen, endlich auf seinem ursprünglichen Orte zum Stillstande k men. Coulomb untersuchte bei einem Eisendrahte von N welcher 6,5 Z. lang und mit einem Gewichte von 2 ℔ bel war, die Abnahme der durchlaufenen Bogen, indem er die cillationen zählte, nach denen der von der Spitze des Zei am Cylinder durchlaufene Bogen um 10° vermindert wur wobei er von einem Drehungswinkel = 90° ausging, die cillationen zählte, bis dieser = 80° wurde, dann densel weiter bis 45° abnehmen liefs, und abermals die Oscillatio zählte, bis derselbe = 35° wurde u. s. w. Hierdurch erh er folgende einander zugehörige Gröfsen:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen.
90° 00′	3,5
45° 00′	10,5
22° 30′	23,0
11° 15′	46,0

Man sieht bald, dafs die für eine Abnahme von 10° erford liche Zahl der Oscillationen bei kleinen Bogen der Gröfse di ser letzteren umgekehrt proportional ist, bei gröfseren Oscill tionsbogen aber eine bedeutende Abweichung von diesem G setze zeigt. Der Thatsachen sind indefs zu wenig vorhande um ein allgemeines Gesetz hierüber aufzufinden. Versuche n einem Messingdrahte von gleicher Länge, Dicke und Belastu gaben ein gleiches Resultat. Es gehörten nämlich hierbei fo gende Werthe einander zu:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen
90° 00′	6
45° 00′	16
22° 30′	40
11° 45′	80

Uebersteigt die den Körper verändernde Kraft das Mafs sei ner Elasticität, so wird ihren Theilen eine bleibende Verän derung ihrer Lage mitgetheilt (*take a set*), und sie komme nicht wieder zu ihrer ursprünglichen Stelle zurück, wenn di Kraft zu wirken aufhört, zerbrechen aber, wenn ihre Wirkun

ntdauert. Coulomb drehete den oben beschriebenen Eisen-raht zunehmend mehr um seine Axe, liefs nach jeder neuen Drehung den Cylinder an demselben oscilliren, bis er zum Still-stande kam, drehete ihn dann abermals um seine Axe, bemerkte jedesmal den Stillstandspunct und dessen Abweichung vom vo-rigen Standpuncte, und fuhr damit fort, bis der Draht brach. Die hierbei erhaltenen Gröfsen zeigt folgende Zusammenstellung, worin P den ganzen Umfang des Kreises bedeutet:

Grade der Drehung.	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte an.	Grenze der Elasticität der Saite.
½ P	8°	8°	172°
P	50	58	310
2 P	310	P + 8	P + 50
3 P	P + 300	2 P + 308	P + 60
4 P	2 P + 290	5 P + 238	P + 70
5 P	3 P + 280	9 P + 158	P + 80
6 P	4 P + 260	14 P + 58	P + 100
10 P	8 P + 240	22 P + 298	P + 120
14 P	Zerbrechung		

er Draht brach in der Mitte, und hatte die Gestalt eines aus wei Strängen gewundenen Seiles. Die letzte Columne ist durch ubtraction der zweiten von der ersten erhalten, und giebt an, ie weit der Zeiger beim Stillstande hinter seinem ursprüngli-hen Stande zurückblieb. Aehnliche Versuche mit dem schon rwähnten Messingdrahte gaben folgende Resultate:

Grade der Drehung	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte.	Grenze der Elasticität der Saite.
2 P	160°	160°	P + 200°
4 P	2 P + 0	2 P + 160	2 P + 0
6 P	3 P + 300	6 P + 100	2 P + 60
10 P	7 P + 300	14 P + 40	2 P + 60
20 P	17 P + 340	32 P + 20	2 P + 20
28 P	Zerbrechung		

In diesem Sinne ist also die Elasticität des Messings ſser als die des Eisens.

So wie die Erforschung der Elasticität der verschied Körper, welche sie gegen eine ausdehnende oder zusamn drückende und eine beugende Kraft ausüben, vorzüglich wegen vielfach angestellt ist, um die Lasten zu kennen, che dieselben auf die eine oder die andere Weise zu tra vermögen [1], so hat man auch diejenige Stärke der verschiede Körper untersucht, womit sie einer sie um ihre Axe drehen Gewalt Widerstand leisten. Inzwischen sind Versuche h über ungleich seltener als diejenigen, welche zu Erforsch der absoluten, relativen und rückwirkenden Festigkeit der K per angestellt wurden, und sie machen meistens nur eine bedeutende Zugabe zu diesen aus [2]. Die wichtigsten und meisten brauchbaren Resultate werden unten bei den praktiscl Anwendungen benutzt werden. Im Allgemeinen ist das V halten der Körper hierbei so, daſs die mittleren Theile ruh die äuſsern aber um so weiter verrückt werden, je gröſser Abstand vom Centrum ist. Denkt man sich aber gröſserer l stimmtheit wegen einen Cylinder, und nimmt an diesem e Reihe von Theilchen, welche mit der Axe parallel laufen, müſste diese durch die Drehung verlängert werden, welc auch allerdings der Fall ist. Wegen des Widerstandes ab welchen sie einer solchen Ausdehnung nach den Gesetzen der C häsion entgegensetzen, drücken sie die mittleren zusamm und es findet also im Allgemeinen eine Verkürzung Statt. Na Young [3] wird hierbei ein Draht um den vierten Theil sov verkürzt, als die äuſseren Theile sich verlängern müssen, we die ganze Länge unverändert bliebe, wonach die Kraft d Cubus des Drehungswinkels proportional seyn müſste. Da di ser aber nur der einfachen Potenz des Drehungswinkels der E fahrung nach proportional ist, so folgert er hieraus, daſs kei absolute Längenausdehnung der Theile, sondern hauptsächli

---

1 S. *Cohäsion.*

2 Für die Literatur dienen die unter dem Artikel *Cohäsion* a gegebenen Werke über die Festigkeit der Körper Th. II. Ueber d Verhalten des Guſseisens s. Tredgold practical Essay on the streng of cast Iron. p. 96.

3 Lectures on Nat. Phil. I. 141.

der blofs eine laterale Verschiebung derselben, eine Ueberwindung der Starrheit, statt findet.

Elasticität der tropfbaren Flüssigkeit.

Die Frage, ob die tropfbaren Flüssigkeiten, und unter ihnen namentlich das Wasser elastisch seyen, hat die Gelehrten von den frühesten Zeiten an beschäftigt. Wenn man nach theoretischen Gründen berücksichtigt, dafs die Körper ihre Natur und Wesen nicht ändern, wenn sie auch durch stets vermehrte Wärme zuerst stärker ausgedehnt und dann tropfbar flüssig werden, so mufs man sie hiernach schon für elastisch halten, weil gar kein Grund vorhanden ist, warum sie diese ihnen im Zustande der Festigkeit zukommende Eigenschaft durch den Uebergang zur tropfbaren Flüssigkeit verlieren und als expansibele Flüssigkeiten in einem so hohen Grade wieder erhalten sollten. Man hat indefs nicht sowohl auf diese Weise argumentirt, als vielmehr die Frage auf dem Wege des Experimentes zu beantworten gesucht, wahrscheinlich weil FRANZ BACO von Verulam auf diesem vorangegangen war. Dabei ist es übrigens unverkennbar, dafs die Theorieen, woraus CARTESIUS und NEWTON die Elasticität der expansibelen Flüssigkeiten zu erklären versuchten [1], zugleich auf die Frage führen mufsten, ob auch den tropfbaren Flüssigkeiten diese Eigenschaft zukomme, da man dieselbe bei diesen ungleich weniger beobachtet, als bei jenen, oder sie vielmehr ohne künstliche Vorrichtungen gar nicht wahrnimmt. Hauptsächlich aber führten zwei bekannte Phänomene zur näheren Untersuchung dieser Sache, nämlich erstens die Beobachtung das Ricochettirens solcher Körper, welche unter einem spitzen Winkel gegen die Oberfläche des Wassers geworfen werden, und zweitens die Sinneswerkzeuge des Gehörs der Fische, welche ohne eine Fortleitung der Schallwellen durch das Wasser ohne Nutzen seyn würden, woraus man also indirect die Elasticität desselben folgerte. Indem dieser letztere Gegenstand zunächst zur Lehre vom Schalle gehört [2], so übergehe ich ihn hier ganz, um so mehr, als die Frage selbst bereits auf einem andern Wege hinlänglich entschieden ist. Ob

---

1 Vergl. *Expansibilien.*

2 S. *Schall; Fortpflanzung desselben durch tropfbare Flüssigkeiten.*

das Ricochettiren der Körper auf der Wasserfläche die E
cität der tropfbaren Flüssigkeiten beweise, darüber ist lang
stritten. Vorzüglich suchte Bellogradi [1] die Elasticitä
Wassers sowohl hieraus, als auch aus dem Aufspringen
Wassertropfen von einer Wasserfläche oder einem Marmorbl
worauf sie herabfallen, darzuthun. Hiergegen erklärte
Spallanzani [2], sprach dem Wasser fast alle Elasticität
erklärte das Abprallen fester Körper vom Wasser aus dem
derstande des letzteren und dadurch veränderte Richtung in
Bewegung der ersteren, das Emporfliegen von Wassertro
wenn Wasser oder feste Körper in diese Flüssigkeit gewo
werden, aus dem Seitendrucke der verdrängten einzelnen Sch
ten, das Aufspringen von Wassertropfen aber von einer M
morplatte, auf welche man sie herabfallen läfst, aus der El
cität der letzteren allein. Obgleich Spallanzani seine
hauptungen mit den Resultaten seiner Versuche unterstüt
wonach geworfene Körper auch von weichem Thone, zäl
Schlamme und Eiergelb abprallen, so begreift man doch b
dafs dieses Argument eigentlich nichts sagt, weil die letzte
Körper gleichfalls elastisch seyn können und vielmehr seyn m
sen, insofern ihnen eine Menge Wasser beigemischt ist. I
Aufspringen der Wassertropfen von Steinen, worauf sie fal
stellte Spallanzani das Argument entgegen, dafs auch u
lastische Körper durch eine gespannte Saite zurückgewo
würden, und er setzte die Ursache dieser Wirkung also eige
lich in die Elasticität der Steine. Allein die Wassertropfen spr
gen auch von einer Wasserfläche zurück, welches zwar zuw
len, aber nicht allezeit eine Folge der comprimirten Luft i
und die Art und Höhe ihres Aufspringens ist überhaupt ei
ganz andere, als wenn nur wenig elastische Bleikugeln z.
von einer Glasplatte zurückspringen, wodurch die Elastici
der Flüssigkeiten schon genügend erwiesen ist [3].

Rücksichtlich auf die Versuche, wodurch man die Elas
cität des Wassers anfangs blofs zu beweisen, später die Stä
derselben zu messen suchte, sind die wichtigsten derselb

1 Della Riflessione de' Corpi dall Acqua u. s. w. In Parma 1753.

2 Physikalische und mathematische Abhandlungen. 5te Abh.

3 Ueber die Herleitung des gleichen Niveau's tropfbarer Fl
sigkeiten in communicirenden Röhren aus ihrer Elasticität verglei
Art. *Hytrostatik*.

schon früher erwähnt [1]. Es wird hier also genügen, nur die erhaltenen Resultate anzugeben, um daraus die Stärke der Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten zu finden. Zu den Versuchen von Baco, der *Florentiner Akademie*, Boyle, Musschenbroek u. a., welche gar kein Resultat gaben oder vielmehr das Wasser als völlig unelastisch zeigten, gehören auch diejenigen, welche Franc de Lanis [2] in Vorschlag brachte. Man soll ein hohes gläsernes Gefäfs mit Wasser füllen, worin kleine Kügelchen von unmerklich gröfserem spec. Gew. als das Wasser ist, gerade niedersinken, dann eine Thierblase überbinden und das Wasser mit dem Finger zusammeudrücken, damit es dichter werde, und die Kügelchen aufsteigen. Will man diesen Versuch auch sinnreich nennen, so ist er doch in der hier angegebenen Art ganz unzulässig und auch keiner Verbesserung fähig, weil es keinen bekannten festen Körper giebt, welcher weniger compressibel ist als das Wasser, und daher sein spec. Gew. gegen das Wasser in demselben befindlich auf die hier angegebene Weise ändern könnte.

Die ersten Versuche, welche richtige Resultate gaben, sind die um 1762 durch Canton angestellten [3]. Er wurde dabei durch eine neuerdings bei der Construction der Thermometer wieder in Anregung gebrachte Beobachtung geleitet, indem er fand, dafs Flüssigkeiten in einer Röhre mit einer Kugel höher standen, wenn der Apparat luftleer war, als wenn die Luft auf die Flüssigkeit drückte, wobei er annahm, dafs diese Verminderung des Volumens eine Folge des Luftdruckes gegen dieselbe sey, da sie vielmehr hauptsächlich der Elasticität des Glases beizumessen ist. Inzwischen bestimmte diese Beobachtung die Methode, welche Canton bei seinen Versuchen befolgte, indem er eine Kugel mit einem Rohre, welches in ein Haarröhrchen endete, und wobei das Inhaltsverhältnifs der einzelnen Theile genau bekannt war, mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten füllte, unter eine Glasglocke setzte, und unter dieser die Luft erst exantlirte, dann comprimirte, um die Vermehrung und Verminderung des Volumens als Folge des aufgehobenen oder verstärkten Luftdruckes kennen zu lernen. Auf

1 S. Compressionsmaschinen für Wasser. Th. II. S. 220 ff.

2 Magisterium naturae et artis. Brixiae 1686. Fol. p. 176.

3 Phil. Trans. LII. II. 641.

diese Weise fand Canton, daſs ein Druck, doppelt so starl der atmosphärische, das Volumen des Wassers um $\frac{1}{10870}$ nes Volumens verringerte, ohne daſs ein Unterschied bem bar war, das Wasser mochte lufthaltig seyn oder nicht. C ton will ferner gefunden haben, daſs das Wasser im Wi (also bei niedrigerer Temperatur) sich stärker zusammendrüc lasse als im Sommer, welches bei Weingeist und Baumöl gerade umgekehrt zeigte. Bei 27,66 P. Z. Barometerstand 10° C. Temperatur erhielt er durch den Druck *einer* Atmosp folgende Verminderungen:

Bei	Weingeist	—	0,000066	des Volumens
—	Baumöl	—	0,000048	— —
—	Regenwasser	—	0,000046	— —
—	Seewasser	—	0,000040	— —
—	Quecksilber	—	0,000003	— —

Es ergiebt sich hieraus, daſs die dichtesten Flüssigkeiten wenigsten zusammendrückbar sind, jedoch ohne ein bestimn Verhältniſs zwischen den Dichtigkeiten und den Graden Compressibilität. Daſs übrigens die Flüssigkeiten in so f vollkommen elastisch sind, als sie beim nachlassenden Dru ihr voriges Volumen wieder einnehmen, ist oben schon wähnt.

Canton's Versuche haben lange Zeit als einzige Autor gegolten, und verdienen diesen Vorzug mit Recht, indem durch einige spätere nicht erreicht, durch die neuesten aber i bestätigt sind. Zu erwähnen sind vorzüglich die durch He bert [1] und die noch viel bekannteren durch Abich angestellt Versuche, welche Zimmermann [2] beschrieben kat. Die M schine, deren er sich hierbei bediente, ist früher [3] schon b schrieben und dabei gezeigt, daſs mit derselben unmöglich g naue Resultate zu erhalten waren, obgleich der Herausgel der Schrift die Unvollkommenheiten des Apparates und d hieraus nothwendig entspringenden Fehler zu entschuldig sucht. Es würde daher überflüssig seyn, mehr als die Resu tate, und diese bloſs des geschichtlichen Interesses wegen, he

1 Diss. de aquae aliorumque nonnullorum fluidorum elasticita Viennae 1774. 8.

2 Ueber die Elasticität des Wassers theoretisch und historis entworfen von E. A. W. Zimmermann. Leip. 1779.

3 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 223.

setzen, welche ohnehin nicht mit den durch Canton erhaltenen übereinstimmen. Abich fand nämlich die Zusammendrückung von 26,75 Kub. Zoll

	durch den Druck von	
	745,181 ℔	2509,591 ℔
bei Brunnenwasser . .	$\frac{1}{142,68}$	$\frac{1}{38,667}$
— satur. Salzwasser .	$\frac{1}{103,45}$	$\frac{1}{33,908}$
— Milch	$\frac{1}{115,21}$	$\frac{1}{38,695}$
— Branntwein . . .	$\frac{1}{224,78}$	$\frac{1}{5\ ,66}$

Wenn man annimmt, dafs die Zusammendrückungen sich wie die Gewichte verhalten, so würde der Druck *einer* Atmosphäre das Wasser um 0,000075 seines Volumens comprimiren, also weit mehr, als Canton gefunden hat, wie dieses aus der Beschaffenheit des gebrauchten Apparates nothwendig folgt. Dafs aber Branntwein weniger und saturirte Salzsolution mehr compressibel seyn sollte als Brunnenwasser, streitet nicht blofs gegen Canton sondern auch gegen jede Theorie, und überhaupt ist die Mangelhaftigkeit der Versuche und ihrer Resultate ausführlich geprüft durch F. G. Busse [1].

Die neuesten Versuche, die Gröfse der Elasticität des Wassers zu finden, sind durch Perkins und Oerstedt angestellt. Ersterer bediente sich hierzu des von ihm sogenannten *Piezometer's*, dessen doppelte Einrichtung am gehörigen Orte beschrieben ist [2]. Mit dem ersteren, nach seiner Meinung unvollkommener eingerichteten Apparate glaubte er gefunden zu haben, dafs die Gröfse der Zusammendrückung des Wassers durch 100 Atmosphären nahe 0,01 seines Volumens betrage, allein Roget [3] zeigt durch eine genauere Berechnung, dafs sie nur 0,0047 beträgt, und also nur um 0,000001 von Canton's Bestimmung abweicht. Nach Gilbert's [4] Berechnung beträgt die gesuchte Gröfse 0,0048, also findet auch hier nur eine Ab-

1 Gang und Gröfse der Weichheit des Wassers aus den Versuchen des Hrn. Zimmermann gefolgert. Leipz. 1806. 8. Oerstedt bei Schweigg. J. XXI. 348 will durch Verbesserung der Rechnungsfehler mehr Uebereinstimmung in die Versuche gebracht, und die Zusammendrückung fast dreimal so grofs als Canton gefunden haben, welches aber mit seinen spätern Versuchen nicht übereinstimmt.

2 *S. Compressionsmaschine* Th. II. S. 224.

3 Ann. of Phil. N. S. II. 135.

4 Ann. d. Phys. LXXII. 176.

weichung von 0,000002 statt, und es spricht sehr für die nauigkeit beider Versuche, daſs sie nach so ganz ungleic Methoden angestellt, so übereinstimmende Resultate gege haben. Die späteren, mit dem verbesserten *Piezometer* an stellten Versuche gaben dagegen durch einen Druck von Atmosphären eine Vermehrung des Gewichtes von 3,5 Proc welches eine Zusammendrückung durch 100 Atmosphären von 0,01064 des Volumens giebt. Diese letztere übertrifft die erst um mehr als das Doppelte, und muſs daher fehlerhaft seyn, a ist es leicht möglich, daſs beim Eindringen des Wassers in den linder Luftbläschen in den Ecken zurückblieben, welche man sei Undurchsichtigkeit wegen nicht gut bemerken konnte. Pe kins's Apparat steht auf allen Fall dem einfachen und leicht handhabenden Canton's nach. Wirklich sind auch die v diesem erhaltenen Resultate vollständig durch diejenigen best tigt, welche Oerstedt [1] mit dem von ihm sehr zweckmäſ construirten Apparate erhalten hat, wonach die Gröſse der V lumensverminderung des Wassers der comprimirenden Kr directe proportional gefunden ist, und für 100 Atmosphär 0,0047 beträgt, das ursprüngliche Volumen als Einheit a genommen.

III. Theorie.

Da die bisher erörterten Thatsachen darthun, daſs die El sticität der Körper auf der Lage ihrer Theile und ihrem gege seitigen Verhältnisse beruhe, wir aber weder die Elemente d Körper noch auch ihre Abstände von einander und die indiv duelle Art ihrer Zusammenfügung genau kennen, so ist nur g ringe Hoffnung vorhanden, daſs es uns gelingen sollte, d Wesen dieser Eigenschaft genau zu erforschen. Indeſs könne wir dieselbe mit andern Erscheinungen und erkannten Natu gesetzen in Uebereinstimmung bringen.

Früher leitete man diese Eigenschaft von der Luft he welche in den Zwischenräumen der Körper eingeschlossen seyn und durch ihre Reaction gegen die zusammendrückenden Kräft die Erscheinungen der Elasticität hervorbringen sollte. Boyle Derham, Hawksbee und Musschenbroek prüften indeſs di verschiedensten Körper im luftleeren Raume, und fanden si

1 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 225.

daselbst auf gleiche Weise elastisch [1]. Cartesius [3] nahm seinem Systeme gemäſs einen feinen Aether an, welcher durch seine Strömungen Zwischenräume in den Körpern gebildet haben, und nach der Beugung oder Zusammendrückung derselben gegen die feste Masse stoſsen und somit Wiederherstellung der früheren Form veranlassen sollte. Spätere Anhänger dieser Hypothese, als Malebranche, Mersenne, Daniel-[3] und Johann-Bernoulli [4] suchten dieselbe durch Annahme verschiedener Formen der Zwischenräume und eigenthümlicher Bewegungen des Aethers plausibeler zu machen. Andere hielten den Aether selbst für absolut elastisch, oder lieſsen, wie Daniel Bernoulli, hauptsächlich in Beziehung auf die Flüssigkeiten, die Elasticität durch die Wärme entstehen, welche den Aether in Bewegung setzen sollte. Musschenbroek [5] verwirft indeſs jede Erklärung aus einem Aether, theils weil ein solcher überhaupt nur hypothetisch sey, theils weil die versuchten Erklärungen überall innere Widersprüche enthielten, und er glaubt, daſs die Naturlehre noch nicht weit genug gebildet sey, um die Ursache dieser Eigenschaft befriedigend aufzufinden. Die Anhänger der Kantischen Dynamik leiteten die Elasticität von der Wirksamkeit der Dehnkraft ab, welche überhaupt eine zu groſse Annäherung ihren Theile gegen einander hindern soll; wogegen aber Gehler [6] erinnert, daſs eine solche Repulsivkraft mit der unbestreitbar existirenden Anziehungskraft nicht wohl verträglich sey.

Nach Gren [7] ist die Elasticität fester Körper eine unmittelbare Folge der Cohäsion, und er verwirft den Ausdruck *Elasticität*, um hierfür den andern, *Federkraft* einzuführen, weil elastische Körper die Fähigkeit haben sollen, zusammengedrückt zu werden, und dann durch Expansion ihren früheren Raum wieder einzunehmen, wie dieses bei den Gasarten der Fall ist. Die Hypothese übrigens, welche hiernach als physikalisches Gesetz aufgenommen werden müſste, daſs bei festen

1 Musschenbroek Introd. I. §. 766.
2 Princ. Phil. P. IV. prop. 132.
3 Hydrodyn. Sect. X.
4 Opp. III. 81.
5 a. a. O.
6 Wörterb. I. 701.
7 Grundriſs d. Naturlehre Halle 1797. 8. §. 126.

Körpern alle Erscheinungen der Elasticität von einer Ausd
nung ihrer Theile und dem Bestreben derselben, sich wi
zusammenzuziehen, abgeleitet werden müsse, eine Zusamn
drückung oder Näherung dieser Theile aber ganz unstatt
sey, hätte GREN bei näherem Nachdenken sich selbst le
widerlegen können. Die bekannte Erfahrung an einer el
beinenen Billardkugel, welche auf eine ebene, mit Kien
gefärbte, harte Platte geworfen, flach gedrückt wird, erk
er zwar daraus, dafs die Theile seitwärts ausweichen,
durch ihr nachfolgendes Zusammenziehen das Aufspringen
Kugel veranlassen sollen. Als Beweis hierfür dient ihm
stählerner Ring, welcher bei der Zusammendrückung an
gedrückten Stellen Bogen mit gröfserem Radius bildet, also a
gedehnt wird, und durch Zusammenziehung der gedehn
Theile seine ursprüngliche Form wieder erhalten soll. Obgle
dieser Versuch keineswegs beweisend ist, um somehr, als
der Erklärung desselben auf die kleineren, von den gröfse
um 90° entfernten, Bogen gar keine Rücksicht genommen w
so läfst sich doch bei beiden Erscheinungen, sowohl an
Kugel als auch am Ringe, nicht darthun, dafs die Elastic
eben so gut eine Folge der Zusammenziehung als auch der A
dehnung der weiter entfernten und der mehr genäherten The
sey. Allein zuerst ist es schon an sich eine gewagte Vora
setzung, dafs z. B. bei einer aufgewundenen Stahlfeder oder
nem gebogenen Stabe keine Zusammendrückung der Theile
der inneren Seite der Biegung stattfinden sollte, zweitens al
beweisen die zahlreichen Beispiele der Compression tropfba
Flüssigkeiten und fester Körper hinlänglich, dafs die Theile de
selben durch äufsere mechanische Gewalt einander wirklich n
her gebracht werden [1], endlich aber zeigt das Ausweichen d
zusammengedrückten Theile bei zu starker Krümmung elas
scher Körper genugsam, dafs ebensowohl eine Zusammendrü
kung als eine Ausdehnung der Theile die nächste Ursache d
Reaction elastischer Körper gegen äufsere Gewalt sey, nic
zu gedenken des Beweises, welcher aus den Schwingungen elas
scher klingender Körper folgt, indem diese auf keine Weise als blof
Ausdehnungen anzusehen sind. Ohne Zweifel ist auch die bei
Biegen elastischer Drähte freiwerdende Wärme, wenn die Bi

1 Vergl. *Compressibilität.*

gung insbesondere schnell nach entgegengesetzten Seiten wiederholt und dadurch ein Zerbrechen bewirkt wird, eine Folge dieser Compression der Theile.

Parrot [1] leitet gleichfalls die Erscheinungen der Elasticität von der Cohäsion allein ab, jedoch in der Art, daſs er dabei allerdings Zusammendrückung annimmt, aber ohne Mitwirkung einer repulsiven Kraft, deren Existenz er überhaupt verwirft. Nach ihm wirkt nämlich die Cohäsion theils longitudinal, theils lateral; im ersten Falle bei der Entfernung der Theile von einander, im letzten dann, wenn die gedrückten Theile in die Zwischenräume der benachbarten gepreſst, und von diesen nach Art eines mit Fett bestrichenen Keiles wieder zurückgestoſsen werden. Es ist dann ferner die longitudinale Cohäsion bei gestreckten Körpern wirksam, die laterale beim Zusammenstoſsen elastischer Kugeln, beide vereint aber geben die Erscheinungen gebogener Stäbe. Die Kenntniſs der Elasticität der Körper gäbe uns, nach seiner Ansicht, dann ein Mittel, die Cohäsionsweite ihrer Elemente zu berechnen, wobei es aber auf die Kenntniſs der Gröſse dieser letzteren ankäme, welche bis jetzt noch nicht erforscht ist. Für die Erklärung der Elasticität fester Körper reicht dieses allerdings hin, die Elasticität flüssiger Körper ist aber ohne die Annahme einer Repulsivkraft unmöglich, wie sich weiter unten zeigen wird.

Daſs die Erscheinungen der Elasticität, mindestens bei festen Körpern, als eine Folge der veränderten Lage der Elemente, einer Verschiebung derselben, zu betrachten, wird jetzt allgemein angenommen, und ist als unmittelbares Resultat der Beobachtung anzusehen. Am ausführlichsten und gehaltreichsten ist diese Ansicht erläutert durch Biot [2], welcher sie zugleich mit der Hypothese über die verschiedene Lage und das gegenseitige Verhältniſs der Elementartheilchen in den Körpern, jenachdem sie expansibel, tropfbar flüssig oder fest sind, in Verbindung bringt. Hiernach können auch bei festen Körpern die Bestandtheile durch äuſsere mechanische Gewalt gezwungen werden, ohne Aufhebung der Cohäsion einander veränderte Seiten zuzuwenden, welches auf eine aus den Erscheinungen der Krystallisation entnommene Anziehung nach der Richtung

---

1 Grundriſs d. theor. Physik. I. 54.

2 Traité I. 468.

der Axen jener Elemente führen würde. Die Verschiebung derselben kann ferner allgemein seyn, oder partiell, indem einige in ihrer Lage bleiben, auch beruhet hierauf im Allgemeinen die Formänderung der Körper und ihre Verwandlung in Drähte Bleche u. s. w. verbunden mit einer ungleichen Dichtigkeit des Gefüges, wie solches z. B. bei der Oberfläche der Drähte und bei getriebenen Blechen statt findet [1]. Ist die Einwirkung einer äufsern Gewalt minder stark, und eine gewisse Grenze nicht überschreitend, so werden die Theile nach einigen Oscillationen wieder in ihre frühere Lage zurückkommen, und dieses ist der eigentliche Charakter der Elasticität. Biot hält hiernach die Elasticität für wesentlich verschieden von der Cohäsion indem die letztere die absolute Kraft bezeichnet, womit die Theile der Körper an einander hängen; indefs ist nicht zu verkennen, dafs eben das Bestreben der Körper, den Zusammenhang der Theile in ihrer ursprünglichen Lage zu erhalten und gegen die durch äufsere Kraft erlittene Veränderung wieder herzustellen, das Wesen der Elasticität ausmacht.

Ist die gegenseitige Lage der Theile durch Streckung, Beugung Druck oder Drehung verändert, jedoch innerhalb der Grenze der Elasticität des individuellen Körpers, so dafs also bei nachlassender Kraft die anfängliche Form vollkommen wieder hergestellt wird, so müssen die in eine veränderte Lage gebrachten Theile bei der Herstellung der ursprünglichen Form die früher erlittenen Veränderungen rückwärts wieder herstellen, oder die nämlichen Räume wieder durchlaufen, welche sie bei der mitgetheilten Veränderung almälig durchlaufen haben. Insofern die Erscheinungen der Elasticität nothwendig auf das Gesetz der Attraction zurückgeführt werden müssen, da sie durch die Cohäsion bedingt sind und nicht statt finden, sobald die letztere zum Theil oder völlig überwunden ist, so könnte man argumentiren, dafs die Reaction durch die Elasticität mit der Zunahme der einwirkenden Kraft abnehmen müsse, wenn man annehmen wollte, dafs die Theile sich zunehmend von einander entfernten. Die Erfahrung ergiebt aber das Gegentheil, indem vielmehr innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität die Reaction der einwirkenden Kraft nach der angegebenen, durch Hooke aufgefundenen und nachher allge

---

1 Vergl. Robison Mech. Phil. I. 386.

sein bestätigten Gesetze direct proportional ist. Hieraus folgt, daſs keineswegs eine Entfernung der Theile von einander statt findet, welche auch bei Zusammendrückungen nicht einmal angeleitet wird, aber auch bei Streckungen und Beugungen nicht anzunehmen ist, insofern keine absolute Vermehrung des Volumens statt findet; vielmehr beruhen die Erscheinungen der Elasticität bloſs auf einer Veränderung der Lage der Theile gegen einander und des mechanischen Gleichgewichts (équilibre stabile), worin sie sich im Zustande der Ruhe befinden[1], wahrscheinlich nicht ohne Einfluſs der Richtung ihrer Axen gegen einander, wenn man anders gewisse Anziehungsaxen, nach der Analogie der Krystallisationsaxen, anzunehmen geneigt ist. Diese Ansicht weiter zu verfolgen würde indeſs zu sehr in das Gebiet des bloſs Hypothetischen führen. Wenn aber der Satz begründet ist, daſs die Reaction der Elasticität allezeit der die Form verändernden Gewalt proportional wächst, so muſs nach dem Aufhören der letzteren die Oscillation, vermöge welcher die Theile in den ursprünglichen Zustand des Gleichgewichts zurückkehrt, dieser Gewalt gleichfalls proportional seyn, und hiernach sind diese Oscillationen isochronisch, wie groſs auch der Bogen seyn mag, welchen die Theile dabei durchlaufen, ein hauptsächlich in der Lehre vom Schalle höchst wichtiger Satz. Daſs hierbei wegen der Reibung der Theile an einander der Oscillationsbogen der Theile nicht doppelt so groſs wird, als derjenige ist, durch welchen sie anfänglich bewegt wurden, somit also die Oscillationen endlich selbst aufhören müssen, ist oben schon bemerkt. Werden die Theile der Körper durch äuſsere Gewalt über die Grenze der Elasticität hinausgerückt; so kommen sie nicht ganz in ihre frühere Lage zurück, und es muſs daher eine Verschiebung derselben statt gefunden haben, welche so sehr wachsen kann, daſs die Cohäsion zuletzt überwunden wird, und der Kör-

1 Nach Robison Mech. Phil. I. 379 befinden sich die Elemente der Körper, wenn diese in ihrem gewöhnlichen Zustande sind, in einem Zustande des Gleichgewichts anziehender und abstoſsender Kräfte, indem sie sich entweder nur in einzelnen Puncten berühren, oder nach Boscovich durch attractive und repulsive Kräfte im Gleichgewichte gehalten werden. Nach Poisson in Mém. de l'Inst. An. 1812. p. 171 ist die Elasticität Folge einer Repulsion zwischen den Theilen (molécules) der Körper, welche sich bloſs auf unmeſsbare Fernen erstreckt.

per zerbricht, zerreifst. Nach dieser Ansicht mufs die I der Theile verändert werden durch das Hämmern, Drahtzie Walzen, zugleich auch durch das Härten, Anlassen, Kü u. dergl. m. und hiernach zeigen sich auch die Erscheinur der Elasticität verschieden, obgleich es schwer ist, in den zelnen Fällen den Einflufs dieser Veränderungen der Körper die Elasticität genau nachzuweisen. Indefs können wir Wahrscheinlichkeit schliefsen, dafs z. B. durch das Kühlen Glases die Sprödigkeit vermindert, die Elasticität aber verm werde, weil die Theile beim langsamen Erkalten eine re mäfsigere Lage annehmen, und daher weiter über einander l geschoben werden können, ehe die Grenze ihrer Cohäsion ül schritten wird. Eben dieses findet statt bei dem Stahl, v chem ein schnelles Abkühlen (Härten) eine gröfsere Sprödig ertheilt, die durch stärkeres Anlassen mehr und mehr vern dert wird.

Indefs dürfen wir solchen Schlüfsen hinsichtlich der Anc nung der Elemente der Körper nicht zu grofses Vertrauen sch ken. Wären sie auf ein nothwendiges Naturgesetz gegrün so müfsten die Erscheinungen allgemein seyn, welches keir wegs der Fall ist. Das Härten nämlich, welches von so g fsem Einflusse beim Stahl ist, zeigt eine unmerkliche oder keine Wirkung beim Golde, Silber, Zinn, Kupfer und and verschiedenen Metallen, und was das merkwürdigste ist, zeigt sich gerade das Gegentheil bei derjenigen Metallmischu welche zu dem indischen Instrumente *Gong-gong*[1] genomn wird, und aus 78 Th. Kupfer mit 22 Th. Zinn besteht. D CET nämlich und nach ihm BIOT haben gefunden, dafs dasse nach langsamen Erkalten höchst spröde und brüchig ist, w rend es durch schnelles Ablöschen im Wasser hämmerbar wir Im ersten Falle ist sein Bruch glänzend weifs, wie Zinn, letzteren kupferbraun. Indem nun auch die Bruchfläche Stahls nach der Verschiedenheit der Härtung verschieden, t überhaupt anders ist, als beim Eisen, so führt dieses auf Schlufs, dafs diese Verschiedenheit eine Folge der ungleicl Aggregation und Lage der Bestandtheile sey[2]. Dafs aber e verschiedene Behandlung der Körper eine solche Verschied

1 Vergl. *Gong-gong*.
2 Biot a. a. O. S. 515.

heit hervorbringe geht aus andern Erscheinungen hervor. So ist die Polarisation des Lichtes anders in nicht gekühltem, als in gekühltem Glase; mechanischer Druck, ungleiche Erwärmung bringt gleichfalls eine Veränderung hervor, auch fand Thenard den bis 60° C. erwärmten und langsam erkalteten Phosphor weiſs und durchsichtig, schnell abgekühlt aber wurde derselbe schwarz und undurchsichtig wie Kohle [1].

Daſs eine andere Aggregation der Elemente bei flüssigen Körpern als bei festen statt finde, geht unverkennbar aus den Erscheinungen ihrer Elasticität hervor. Berücksichtigen wir zuvörderst die tropfbar flüssigen, indem nur diese im oben angegebenen Sinne des Wortes elastisch genannt werden können, so sind diese zuerst in sofern vollkommen elastisch, als sie der Erfahrung nach gegen jeden auch noch so groſsen Druck mit einer dieser zusammendrückenden Kraft proportionalen reagiren, und beim Nachlassen desselben ihr früheres Volumen wieder erhalten. Daſs dieses Gesetz nicht bis ins Unendliche gültig seyn könne ist als wahrscheinlich anzunehmend schon oben bemerkt, und es scheint das absolut Unendliche überhaupt nicht in der Natur vorhanden zu seyn, weil sie selbst endlich seyn muſs, wenn gleich ihre Grenzen nicht überall aufgefunden werden können, und Parrot [2] schlägt daher nicht ohne Grund vor, das unmeſsbar Kleine *physisch unendlich klein* im Gegensatze des *geometrisch unendlich Kleinen* zu nennen. Die Erscheinung der Elasticität tropfbar flüssiger Körper können wir uns nach La Place, Biot [3] u. a. hypothetisch aus der verhältniſsmaſsigen Lage ihrer Bestandtheile gegen einander recht gut erklären. Nach Biot nämlich ist bei diesen das repulsive Princip (die Wärme) nicht in dem Grade thätig, als bei den gasförmigen, deren Theile sich daher stets mehr zu entfernen streben. Vielmehr wirken die Anziehungskräfte bei ihnen so stark, daſs sie ihr durch äuſseren Druck und die Wärme bedingtes Volumen stets beibehalten. Indeſs zeigen sich bei ihnen, so lange sie im Zustande der tropfbaren Flüssigkeit bleiben, keine Anziehungsgesetze, welche von der Gestalt und Lage ihrer Elementartheilchen abhängen, und welche mit der Entfernung derselben von einander weit schneller abnehmen, als die Anziehungen überhaupt. Die Theilchen werden sich daher anziehen,

1 G. XL. 342.
2 Theor. Physik. I. 65.
3 Traité I. 467. Vergl. *Festigkeit und Flüssigkeit.*

welches auch immer die gegenseitige Lage derselben rücksich lich ihres Schwerpunctes und ihrer Attractions-Axen seyn ma woraus dann eine freie Beweglichkeit ihrer Theile folgt. Br leitet hieraus ferner den grofsen Widerstand her, welchen s vermöge ihres repulsiven Princips jeder zusammendrückend Kraft entgegen setzen, und welcher hiernach, eben wie d Erfahrung gemäfs, jederzeit der Zusammendrückung direct pro portional ist, bis sie durch dieselbe in eine unveränderliche Lag kommen oder fest werden. Hiermit würde nämlich die kürzlic beobachtete Erscheinung zusammenhängen, dafs aus manche Flüssigkeiten durch heftigen mechanischen Druck Krystalle aus geschieden werden sollen. Bei ihnen kann daher, so lange si tropfbar flüssig sind, weder eine Biegung noch eine Drehungs elasticität statt finden, insofern die Anziehungsgesetze ihrer Theil chen in jeder Lage derselben gleich sind, sie daher auch kei Bestreben äufsern, eine veränderte Lage dieser Theilchen wie der herzustellen, und ihre Elasticität kann sich daher blofs ge gen einen Druck äufsern, welcher jene einander absolut nähe zu bringen strebt, als dem Verhältnisse ihrer Attraction un Repulsion angemessen ist, mithin sind sie blofs gegen absolut Zusammendrückung in einen engeren Raum elastisch, und keh ren zu ihrem früheren Volumen, als dem stabilen Gleichgewicht ihrer repulsiven und attractiven Kraft angemessen, zurück, so bald dieser Druck aufhört. Dieses kann indefs nur so lang statt finden, bis ihre Theile entweder durch den Druck selbs eine feste Lage gegeneinander annehmen, worüber uns indefs bi jetzt genügende Erfahrungen fehlen, oder bis sie durch ander weitige Bedingungen, hauptäschlich durch Entziehung der Wär me, eine feste, entweder äufserlich erkennbare regelmäfsige Lag ihrer Theile annehmen (krystallisiren) oder anscheinend unregel mäfsige Lage derselben erhalten, in welchem Falle sie den Ge setzen fester Körper folgen [1].

Durch diese Demonstration ist allerdings die Erscheinung so bezeichnet, wie die Erfahrung sie darbietet, wobei jedoch die Bemerkung nicht entgehen kann, dafs sowohl über die Lag und Anziehung der Elemente, als auch über den Conflict at tractiver und repulsiver Kräfte etwas angenommen wird, wa nicht auf unmittelbare Erfahrung gegründet ist. Zu den letzte

---

1 Vergl. Young Lectures on Nat. Phil. I. 136.

zu muſs man indeſs nothwendig seine Zuflucht nehmen, wenn man consequent argumentiren will. Denn wenn man annimmt, daſs die Elemente der Flüssigkeiten einander durch mechanischen Druck mehr genähert, oder daſs die einen mehr in die Zwischenräume der andern eingedrückt sind, so müssen sie nothwendig bei der auf Erfahrung beruhenden gleichmäſsigen Lage aller Theile gegen einander durch Repulsivkraſt wieder zurückgestoſsen werden, ohne daſs bloſse anziehende Kräfte dieses Phänomen zu erklären vermögen [1].

IV. Praktische Anwendungen.

Eine vorzügliche Anwendung der vorhergehenden Betrachtungen geben die aufgefundenen Gesetze, nämlich daſs die Elasticität oder die elastische Kraft der Körper einer auf sie einwirkenden, ausdehnenden, beugenden oder zusammendrückenden Kraft so weit proportional ist, bis die dadurch erzeugte Veränderung derselben über die Grenze ihrer Elasticität hinausgeht, und daſs eine über diese Gränze hinausgehende, auf die Körper fortdauernd wirkende Gewalt dieselben allmälig und mit zunehmender Geschwindigkeit, oder auch durch öftere Wiederholung endlich zerstören muſs. So wird ein Geschütz, wenn es mit einer über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehenden Ladung geladen wird, zwar nicht das erstemal, wohl aber bei wiederholten Schüssen zerrissen werden, und ein auf gleiche Weise übermäſsig beschwerter Balken zwar nicht augenblicklich, aber mit der Zeit brechen, nachdem seine Biegung fortwährend zugenommen hat [2]. Man darf daher beim Maschinenwesen keinen Theil über die Grenze seiner Elasticität hinaus belasten.

Körper, welche eine nicht groſse Elasticität, aber bedeutende Härte haben, können unter geeigneten Umständen groſse Lasten tragen, weil sie der beugenden Gewalt nur wenig nachgeben, wenig herabsinken, und nicht leicht über die Grenze ihrer Cohäsion hinaus gebracht werden. Wirkt aber eine ihre Sprödigkeit treffende Gewalt auf sie, dann zerbrechen sie leicht.

1 Eine, nach meiner Ansicht, ungenügende Erklärung des Wesens der Elasticität von Barruel in Journ. de Ph. XLIX. 251 ausgezogen in Journ. de l'École polyt. cah. XI. 295 erwähne ich eben deswegen bloſs beiläufig.

2 Tredgold on cast Iron. S. 5.

So wird eine Glassäule und ein Balken von sprödem Gufse
eine grofse Last zu tragen vermögen, beide aber können d
einen Schlag oder Stofs leicht zerspringen[1].

Um die Stärke der Elasticität, hauptsächlich in Hins
auf den Widerstand, welchen die Körper vermöge dieser i
Eigenschaft einer ihre Form verändernden Gewalt entgegense
auf einen allgemeinen Ausdruck zurückzubringen, hat Tho
Young[2] den Ausdruck *Modulus der Elasticität* ein
führt, welcher nachher in den Werken der Engländer über
chanik beibehalten ist. Dieser stützt sich auf das oben erwäh
durch die Erfahrung aufgefundene Gesetz, dafs die Veränder
welche ein elastischer Körper durch eine gewisse Kraft erlei
dieser letzteren so lange direct proportional ist, als die Th
des Körpers keine Veränderung ihrer Lage erleiden; also w
z. B. ein an beiden Enden unterstützter Stab durch ein Gew
von 10 ℔ in der Mitte desselben ruhend um 0,1 Z. herabgedrü
wird, so sinkt er durch 20 ℔ unter gleichen Umständen
0,2 Z. herab. Hiernach kann also die Elasticität der Kör
durch den Modulus der Elasticität ausgedrückt werden, w
man hierunter *eine Säule von der nämlichen Substanz verst
welche fähig ist einen Druck auf die Unterlage hervorzubr
gen, und sich zu dem Gewichte, wodurch eine Zusamm
drückung des Körpers hervorgebracht wird, verhält wie
Länge des zusammengedrückten Körpers zu seiner Verkürzu*
Nennt man also den Modulus der Elasticität = M, das Gewi
welches eine Säule von der Länge l um eine Gröfse = f v
kürzt, = P: so ist

$$M : P = l : f; \text{ also } M = \frac{P\,l}{f}.$$

Drückte z. B. ein Gewicht von 1000 ℔ eine Säule v
100 Z. Länge um 1 Z. zusammen, so wäre der Modulus
Elasticität für diesen Körper

$$M = \frac{1000 \times 100}{1} = 100000,$$

wobei vorausgesetzt wird, dafs der Erfahrung nach ein glei
grofses Gewicht, an einer gleich langen Säule hängend, sie au
um eine gleiche Gröfse herabziehen oder ausdehnen würde. I

1 Tredgold on cast Iron. S. 32.

2 Lectures on Nat. Phil. I. 137. II. 46.

dieses deutlicher darzustellen sey AB eine Prisma von einer willkürlichen Substanz, und BC eine Verlängerung desselben, welche die ganze anzuwendende Kraft darstellt, wodurch das Prisma um die geringe Gröſse aA ausgedehnt wird. Während nun AB unverändert bleibt, muſs aA dem herabziehenden Gewichte BC proportional seyn, also Fig. 24.

$$aA : BC = AB : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$$

oder $$aA : AB = BC : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$$

wonach also CD eine constante Gröſse ist, und da BC das nämliche Verhältniſs zu CD hat, als aA : AB, so muſs ein Theil von CD durch sein Gewicht eine verhältniſsmäſsige Ausdehnung von AB hervorbringen. So würde also eine Säule von 0,001 der Länge von CD die Säule AB um 0,001 herabziehen und auf sie drückend um eine gleiche Gröſse zusammendrücken[1].

Es geht hieraus hervor, daſs man eben sowohl von dem Gewichte, als auch von der Höhe des Modulus der Elasticität reden könne, indem man sich allezeit eine Säule von der gegebenen Substanz denkt, welche durch ihr eigenes Gewicht die bestimmte Gröſse ihrer Verkürzung oder Verlängerung hervorbringt, auch liegt es am Tage, daſs man vermittelst dieser Normalgröſse die zur Elasticität der verschiedenen Körper gehörigen Erscheinungen construiren könne. Die Höhe des Modulus der Elasticität ist allezeit die nämliche, wie auch die Form des Körpers seyn mag, auch wird nach dem Gesetze der Elasticität eine Vermehrung oder Verminderung derselben eine proportionale Veränderung der Zusammendrückung herbeiführen. Für die Luft ist die Höhe des Modulus der Elasticität etwas über eine geographische Meile; denn wenn man das Verhältniſs des Wassers zur Luft = 779,44 : 1 und des Quecksilbers zum Wassers = 13,6 : 1, die Höhe des Barometers aber = 2,3 F. annimmt, so würde eine gleichmäſsig dichte Luftsäule von 24381 F. diejenige Elasticität derselben hervorbringen, welche ihr jetzt eigen ist, jede Vermehrung oder Verminderung aber eine dieser proportionale Zusammendrückung oder Ausdehnung zur Folge haben. Das Gewicht des Modulus der Elasticität eines gegebenen Körpers muſs allezeit über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehen; denn da

1 Vergl. Leslie Elements of Nat. Phil. I. 215.

dasselbe ihn einmal seiner Gröfse proportional ausdehnt, so diese Ausdehnung nicht nachlassen, bis der Körper ze sen ist.

Will man bei der Berechnung und Messung des Wi standes, welchen elastische Körper einer ihre Gestalt ve dernden Gewalt entgegensetzen, von dieser Bezeichnung Modulus der Elasticität Gebrauch machen, so führen hierzu gende Betrachtungen[1]. Bezeichnet f ein Gewicht in Pfun welches ein Prisma von einem Quadratzoll Querschnitt zu tra vermag, ohne über die Grenze seiner Elasticität ausgedehnt werden, W aber ein anderes Gewicht, welches von ei Prisma getragen werden kann, dessen Breite = b und Di = t ist, so ist

$$f : W = 1 : bt; \text{ also } \frac{W}{f} = bt.$$

Ist ferner e die Gröfse, um welche ein Prisma von ein Quadratzoll Querschnitt und einem Fuſs Länge durch ein G wicht = f ausgedehnt wird, und ist l irgend eine andere ge bene Länge, so ist

$$1 : l = e : le,$$

da bei elastischen Körpern die Ausdehnung dem Gewichte p portional ist, wonach also auch

$$f : W = e : \frac{We}{f}$$

oder wenn man aus der vorhergehenden Proportion auch d Länge = l mit einführt, so ist $\frac{Wle}{f} = \Delta$ diejenige Ausdehnur welche für eine gegebene Länge = l durch ein Gewicht = W würde hervorgebracht werden. Geht man nun von dem Grun satze aus, dafs wie sich die Länge einer gegebenen Säule z Verminderung dieser Länge, so der Modulus der Elasticität z der die Verminderung bewirkenden Kraft verhält, so hat ma für das *Gewicht des Modulus der Elasticität* = m die Pro portion

$$e : f = 1 : m \text{ also } m = \frac{f}{e},$$

und wenn p das Gewicht einer Säule der Substanz von 1 F. Läng

1 Tredgold Practical Essay on the strength of cast Iron. Lond 1824. S. 119.

und einem Quadratzoll Querschnitt bezeichnet, M aber die *Höhe des Modulus der Elasticität*, so ist

$$pM = \frac{f}{e} \text{ also } M = \frac{f}{pe}.$$

Um an einem Beispiele zu zeigen, wie beide Gröſsen m und M gefunden werden, so ist nach englischem Maſs und Gewicht bei weiſsem Marmor die Cohäsionskraft eines Parallelepipedon von einem Quadratzoll Querschnitt = 1811 ℔ avoir-du-poids Gewicht, und die Ausdehnung seiner Länge bei 1 Fuſs $= \frac{1}{1394}$, mithin ist

$$f : e = 1811 : \frac{1}{1394} = 2524534 = m.$$

Das Gewicht eines solchen Parallelepipedon aber beträgt 1,17 ℔, mithin ist $\frac{f}{pe} = 1811 : \frac{1{,}17}{1394} = 2151102 = M.$

Die Gröſse f oder die absolute Festigkeit der Körper bis zur Grenze der Ueberwindung ihrer Elasticität ist unter dem Artikel Cohäsion[1] nach den Resultaten der genauesten bekannten Beobachtungen auf rheinländisches Maſs und Cölnisches Markgewicht reducirt mitgetheilt. Es wird daher hier genügen, diese Gröſse f, desgleichen e, p, m und M nach Tredgold[2], welcher hierüber am vollständigsten ist, jedoch ohne Reduction, also in englischem Fuſsmaſs und in avoir-du-poids Gewicht mitzutheilen, wobei ferner noch zu berücksichtigen ist, daſs die Zahlen unter e den Nenner eines Bruches angeben, welchem die Einheit als Zähler zugehört.

---

1 S. *Cohäsion* Th. II. S. 153.

2 a. a. O. S. 269.

Substanzen	f	e	p	m	M
Stahl	45000	645	3,400	29000000	8530
— nach Tredgold[1]	51000	585	3,400	29983410	8818
Schmiedeeisen	17800	1400	3,300	24920000	7550
Gufseisen	15300	1204	3,200	18400000	5750
Messing	6700	1333	3,630	8930000	2460
Glockenspeise	10000	960	3,540	9873000	2790
Zinn	2880	1600	3,165	4608000	1453
Blei	1500	480	4,940	720000	146
Zink	5700	4200	3,050	13680000	4480
Quecksilber	—	—	5,938	4417000	750
Esche	3540	464	0,330	1640000	4970
Buche	2360	570	0,315	1345000	4600
Ulme	3240	414	0,236	1340000	4680
Rothtanne	4290	470	0,242	2016000	83300
Weifstanne	3630	504	0,204	1830000	89700
Lerchenbaum	2065	520	0,243	1074000	44150
Mahagoni	3800	420	0,243	1596000	65700
Eiche	3960	430	0,360	1700000	47300
Fichte	3900	414	0,186	1600000	87000
Weifser Marmor	1811	1394	1,170	2520000	21500
Schiefer von Wallis	11500	1370	1,190	15800000	132400
—a. Westmoreland	7870	1640	—	12900000	— –
— a. Schottland	9600	1645	—	15790000	— –
Portland-Stein	857	1789	0,920	1533000	16720
Wasser	—	—	0,434	325000	7500
Fischbein	5600	146	0,562	820000	14580

Die bekannten Gesetze der Elasticität sind oben aus d
Versuchen gefolgert, und es sind demnächst einige unmittelba
Anwendungen derselben nachgewiesen, welche übrigens b
der Einfachheit der Sache selbst nicht weitläuftig seyn könne
In der Anwendung kommt auch die Elasticität der Körper an si
weit weniger in Betrachtung, als vielmehr der Widerstand, we
chen dieselben vermöge jener ihrer Eigenschaft so lange zu leist
vermögen, bis ihre Theile eine solche Veränderung ihrer La
erleiden, dafs sie dieselbe nicht vollständig wieder herstell
(take a set). In wie fern dieses zur Bestimmung derj

1 Phil. Trans. 1824. II. 358.

gen Lasten benutzt werden kann, womit die verschiedenen Körper nach ihrer Länge und nach ihrer Quere, ohne eine bleibende Veränderung zu erleiden, beschwert werden dürfen (absolute, relative und rückwirkende Festigkeit), ist unter dem Artikel *Cohäsion* gezeigt, und es bleibt daher hier nichts weiter übrig, als eine Anwendung davon auf diejenigen Fälle zu machen, in denen Körper um ihre Axe gedrehet werden, z. B. bei den Wellen der Räder, den Winden, den Schrauben u. a. m. welche wegen ihres unmittelbaren Zusammenhanges mit den Gesetzen der Elasticität der Körper, wenn sie um ihre Axe gedrehet werden, dort nicht erörtert werden konnten.

Es ist oben gezeigt, daſs die Kraft, womit die Körper in diesem Falle der einwirkenden Gewalt Widerstand leisten, der vierten Potenz ihres Halbmessers directe und dem einfachen Verhältnisse ihrer Länge umgekehrt proportional sind. Nennt man also den Coefficienten ihrer Elasticität α, ihre Länge l, ihren Durchmesser d, und berücksichtigt zugleich, daſs nach dem Gesetze des statischen Momentes die Kraft ihrer Entfernung vom Umdrehungspuncte proportional ist, nennt man also die Länge des Hebelarmes, an welchem die Last den gegebenen Körper zu winden strebt, von der Umdrehungsaxe an, = R, so ist allgemein die Kraft W, welche mit der Elasticität des gewundenen Körpers ohne bleibende Verrückung seiner Theile im Gleichgewichte steht,

$$W = \frac{\alpha d^4}{l R}.$$

Für die praktische Anwendung würde erforderlich seyn, den Coefficienten α bei denjenigen Körpern, wovon im Maschinenwesen vorzüglich Gebrauch gemacht wird, durch Versuche aufzufinden. Indeſs ist dieses, so weit mir bekannt, noch bei den wenigsten Substanzen geschehen, und bleibt dieses daher künftigen Untersuchungen vorbehalten. Einen andern Weg hat TREDGOLD[1] betreten, um praktische Regeln über die erforderliche Stärke des Materials gegen die dasselbe drehende Gewalt aufzufinden. Hierbei nimmt er an, daſs ein rectangulärer flacher Körper, etwa ein Blech, entweder durch eine denselben rechtwinklig theilende Linie, oder in zwei seiner Kanten unterstützt sey, und durch eine an die zwei freischwebenden Sei-

1 a. a. O. S. 216 ff.

ten gehangene Last gebogen werde, so lange als seine Elasti tät den beugenden Kräften ohne bleibende Formänderung W derstand zu leisten vermag, wovon er dann zur Auffindung d jenigen Kraft übergeht, mit welcher ein Körper von beliebi Form einer ihn um seine Längenaxe drehenden oder windend Last widersteht. Auf diese Weise findet er für einen Ball von quadratischem Querschnitt, dessen Seite in Zollen = s, Länge in Fufsen = l, der Abstand der Last von seiner A gleichfalls in Fufsen = R ist, das Gewicht = W in Pfund welches in diesem Abstande auf denselben wirken darf

$$W = \frac{f s^2}{1728 R l}\left(s^2 + 72 l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad I,$$

worin f dasjenige Gewicht in Pfunden bezeichnet, womit e Parallelopipedon von einem Quadratzoll Querschnitt ohne bl bende Formänderung nach seiner Länge belastet werden da und welches in der vorstehenden Tabelle enthalten ist. F einen Cylinder ist auf gleiche Weise, wenn d den Durchmess in Zollen bezeichnet, die übrigen Bezeichnungen aber beibeha ten werden,

$$W = \frac{f d^2}{2942 R l}\left(d^2 + 144 l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad II,$$

Es findet sich, dafs der Widerstand gegen die Drehu bei einem cylindrischen Körper ein Minimum wird, we 12 l = d, oder die Länge dem Durchmesser gleich ist. Substi tuirt man diesen Werth in die angegebene Formel, so ist

$$W = \frac{f d^3}{122{,}8 R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad III,$$

welche bequeme Formel in allen denjenigen Fällen angewan werden kann, wenn die Länge des Cylinders den Durchmess übertrifft. Unter dieser nämlichen Bedingung ist für einen hol len Cylinder von einem äufseren Durchmesser = d und eine inneren = n d

$$W = \frac{f d^3}{122{,}8 R}\left(1 - n^4\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad IV,$$

Tredgold giebt n = 0,6 als das beste Verhältnifs fü die Durchmesser an, in welchem Falle

$$W = \frac{f d^3}{141{,}7 R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad V$$

wird.

Als Beispiel zur Erläuterung mögen folgende dienen. Würde der Durchmesser einer Mühlenwelle aus Gusseisen verlangt, welche ein Rad von 9 F. Radius tragen sollte, gegen dessen Umfang das Wasser im Maximo mit einer Kraft von 2000 ℔ wirkte, so wäre nach der Formel III das Gewicht W = 2000 ℔, der Halbmesser R = 9 F., die Stärke des Gusseisens f nach der vorstehenden Tabelle = 15300 gesetzt,

$$2000 = \frac{15300\ d^3}{122{,}8 \times 9}$$

woraus $d^3 = 144{,}477$ ... also d nahe genau 5,25 Z. als Durchmesser der Welle gefunden wird. Soll dagegen der Cylinder ein hohler mit dem angegebenen Verhältnisse der Durchmesser seyn, so wäre nach der Formel V, die nämlichen Werthe substituirt,

$$d^3 = \frac{2000 \times 141{,}7 \times 9}{15300}$$

also d nahe genau 5,5 Z. Auch bei diesen aus Tredgold entlehnten Formeln und Beispielen ist englisches Fussmass und Gewicht beibehalten. *M.*

Elaterometer.

Elasticitätsmesser; *Index mercurialis;* **Baromètre d'épreuve;** *Air gage, air gauge, steam-gage.* Eine Vorrichtung an Luftpumpen und Dampfmaschinen, um die Elasticität, mit welcher verdünnte oder verdichtete Luft unter dem Recipienten, oder auch die Dämpfe im Cylinder einer Dampfmaschine dem Drucke der atmosphärischen Luft entgegen wirken.

Das *Elaterometer für die Luftpumpe* ist eigentlich ein Barometer A, B, C, dessen oberes Ende, A, anstatt zugeschmolzen zu seyn, offen ist, und durch eine Zuleitungsröhre D mit dem innern Raum des Recipienten in Verbindung steht. Vor der Verdünnung steht das Quecksilber in beiden Schenkeln des heberförmigen Barometers gleich. z. B. bei ff'; so wie aber die Luft im Recipienten verdünnt wird, drückt die Atmosphäre durch den offenen Schenkel CB nach, und es erhebt sich in AB. Die Röhren sind von f aus auf und niederwärts nach Zollen und Linien eingetheilt, und ein in der Nähe hängendes Barometer giebt das Verhältniss der *Verdünnung durch die Luftpumpe* zu der Fig. 25.

Torricelli'schen Leere zu erkennen, den äufsern Barometerst gleich 1 gesetzt. Das Letztere läfst sich entbehren, wenn Schenkel BC bei C zugeschmolzen ist, so dafs CB ein wi liches Heberbarometer vorstellt, in welchem die Quecksilbersi von i bis h geht. Vor der Verschliefsung der Hähne ist Luft unter dem Recipienten an Dichtigkeit der äufseren glei und das Instrument zeigt in der Röhre BC, den wirklichen l rometerstand, den man für die kurze Zeit des Versuchs als u veränderlich annehmen kann. So wie man zu pumpen anfär fällt das Barometer, und der Unterschied der Quecksilberhöl in beiden Schenkeln giebt den der Verdünnung entsprechend Barometerstand zu erkennen, Stände dasselbe in beiden Sche keln auf gleicher Höhe, so würde dieses eine *völlige Luftle* im Recipienten anzeigen.

Es hält nicht schwer, das hier angegebene Heberbarome in ein Gefäfsbarometer umzuwandeln, wobei man bei der erste Art, wo das Quecksilber durch den äufsern Atmosphärendru heraufgetrieben wird, noch den Schenkel BC ersparen würd Man darf nur unten, bei B ein Gefäfs anbringen, in welch die Röhre AB eingesenkt wird. Die Construction ist auch wirl lich diejenige des ersten Erfinders, Hawksbee[1]; nur mit de Unterschiede, dafs dieser die Barometerröhre direct in den Te ler des Recipienten eintreten liefs, da hingegen späterhin Nair und Blunt bei der Verfertigung einer Smeaton'schen Luftpump eine Seitenröhre mit einer messingenen, inwendig mit eine deckenden Kitt überzogene Büchse anbrachten, welche das e wan überspritzende Quecksilber aufnehmen sollte. Allein di grofse Ausdehnung, die man einem solchen Gefäfse geben muf wenn man nicht mit beschwerlichen Reductionen sich plage will, scheint dem Heberbarometer, zumal bei der zweiten de angeführten Constructionen, die ein eigentliches Barometer m der Luftpumpe in Verbindung bringt, wesentliche Vorzüge fü genauere Messung zuzusichern. Diese Idee findet sich in eine zwar reducirten, aber für den Gebrauch meistens genügende Form ausgeführt, in dem abgekürzten Barometer, (Baromètr tronqué) welches Dufay[2] beschreibt. Es ist ein Gefäfsbaro meter (dem man auch wegen der Capillardepression und de

Fig. 26.

1 Physico-mechanical experiments etc. London 1709. 4.
2 Mém. de l'Acad. 1734.

geschmeidigern Form ein Heberbarometer substituiren kann) von nicht mehr als 5 bis 6 Zoll Höhe, auf einem platten Fuſse stehend, das unter die Glocke der Luftpumpe gesetzt wird. Seine Wirksamkeit fängt erst an, wenn der Luftdruck unter dem Recipienten nur noch einem Barometerstande von 3 bis 4 Zollen gleich ist.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft nach diesen Barometern ist einfach. Da die Dichtigkeiten oder die Elasticitätten sich wie die Quecksilbersäulen verhalten, welche sie zu tragen vermögen, so braucht man nur die am Elaterometer sich ergebende Höhe des Quecksilbers mit dem jedesmaligen Stande desselben zu vergleichen, um auf das Maſs der Verdünnung zu schlieſsen. Bei der erstern Einrichtung, (nach Hawksbee) wo der äuſsere Luftdruck das Quecksilber in die Röhre AB hinauftreibt, verhalten sich die Dichtigkeiten der eingeschlossenen Luft, wie die Ergänzungen der Höhen des Quecksilbers zum Barometerstande, oder wenn a den beobachteten äuſsern Barometerstand, h die Höhe der angesogenen Quecksilbersäule, D die Dichtigkeit der äuſsern, d die der innern Luft bezeichnet, so ist $d = D \times \frac{a - h}{a}$. Wäre also a = 28 Zoll; h = 24, so ist a — h, oder die Elasticität der eingeschlossenen Luft = 4 Zoll, mithin ihre Dichtigkeit = $\frac{4}{28}$ oder $\frac{1}{7}$ von derjenigen der äuſsern Luft. Bei dem Elaterometer nach Düfay hingegen hat man, wenn die Quecksilberhöhen h an dem Barometer in der oben luftleeren, Röhre CB gemessen worden, $d : D = h : a$; also $d = D \times \frac{h}{a}$; wenn daher dieses Barometer von 28 Zoll auf 24 Zolle fällt, so ist die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft = $\frac{24}{28}$ oder $\frac{6}{7}$ der äuſsern.

Smeaton hat noch ein anderes Elaterometer angegeben, welches von demjenigen des Hawksbee nur darin verschieden ist, daſs nicht der aërostatische Druck der freien Luft, sondern die Expansivkraft eines gewissen Quantums eingeschlossener Luft das Quecksilber in die Röhre AB hinaufdrückt. Seine Wirkung wird am deutlichsten eingesehen, wenn wir ihm die oben angedeutete heberförmige Gestalt geben, wobei man nur innerhalb des Verschlusses bei C ein gewisses Quantum atmosphärischer Luft eingeschlossen sich denken muſs. Es gehe dieses von C bis f, und das Instrument sey so regulirt, daſs vor dem Fig. 25.

Auspumpen das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich h stehe, was wohl am besten durch einen in C angebrachten d verschliefsenden Hahn bewerkstelligt wird, durch welchen vor die atmosphärische Luft eindringen kann. So wie die V dünnung beginnt, entsteht ein immerfort verändertes Verhält zwischen der unverminderten Elasticität der eingeschlosse Luft im Schenkel BC, und derjenigen im Schenkel AB, d gestalt, dafs dasjenige, was der Letzteren an Elasticität abg durch den Druck der in AB sich erhebenden Quecksilbersä ersetzt wird[1]. Es bezeichne d die (in Zollen der Barometers auszudrückende) Dichtigkeit der Luft im Recipienten, D d jenige Dichtigkeit, welche dem äufsern Barometerstande e spricht; a bedeute das Volumen der eingesperrten Luft in Höh Zollen der cylindrischen Röhre BC ausgedrückt; h die Er bung der Quecksilbersäule im Schenkel AB über die Höhe d selben im Schenkel BC, mithin die daraus erfolgende Depr sion in diesem Schenkel oder die Vergröfserung des eingespe ten Luftraumes $\frac{1}{2}$ h, so ist die Luft, welche vorher den Ra a einnahm, auf a + $\frac{1}{2}$ h ausgedehnt; ihre Federkraft, die vo her gleich dem Barometerstande war, ist nun im umgekehr Verhältnifs der Räume, a : a + $\frac{1}{2}$ h geschwächt worden. I dieser verdünnten Luft steht auf der andern Seite die Luft un dem Recipienten, nebst der Quecksilberhöhe h im Gleichgewic es ist also $d + h = \frac{a\,D}{a + \frac{1}{2}h}$; daraus die gesuchte Dichtigk $d = \frac{a\,D}{a + \frac{1}{2}h} - h$. Es sey D = 28 Zolle, a = 12 Z.; h = 16 so ist $d = \frac{12\,.\,28}{12 + 8} - 16 = 0{,}8$ Zollen Quecksilberhöhe.

Das nämliche Instrument läfst sich auch zur Abmessung d *Verdichtung* der Luft gebrauchen, wenn man h oder den H henunterschied der Quecksilberflächen negativ nimmt. Es alsdann $d' = \frac{a\,.\,D}{a - \frac{1}{2}h} + h$; wäre nun der Stand des Quec silbers im verschlossenen Schenkel über dem untern Nivea oder h = 10 Zoll, so hat man für $d' = \frac{12\,.\,28}{12 - 5} + 10 = 58$ Zo oder eine mehr als zweifache Verdichtung. Es wird hierb

1 Philos. Trans. Vol. XLVII. art. 69.

vorausgesetzt, daſs die angewandten Röhren von gleichem Caliber seyen, und dieser Umstand mag dazu beigetragen haben, daſs dieses Elaterometer nicht in Gebrauch gekommen ist, und daſs selbst bei Luftpumpen nach SMEATON's Angabe die Einrichtung von HAWKSBEE angewandt wurde.

Bei dem vor Zeiten angewandten Verfahren, die Glasglocke zu besserer Verschlieſsung auf ein nasses Leder zu setzen, wurde im Vacuum so viel Wasserdampf erzeugt, daſs das Elaterometer die eigentliche Verdünnung der Luft beträchtlich geringer angab, als sie wirklich war. Diesem Nachtheile half SMEATON durch die sogenannte *Birnprobe* ab, vermittelst welcher die Verdünnung durch das Zusammendrücken eines gegebenen Quantums verdünnter Luft bis zu gleicher Dichtigkeit mit der äuſseren, gemessen wurde, bei welcher Verdichtung jene Dämpfe nicht mehr statt finden konnten. Die neuern Mechaniker haben durch genaues Aufschleifen der Recipienten auf den Teller der Luftpumpe jene Quelle der Feuchtigkait entfernt, und so dürfte das Elaterometer allmälig wieder in seine Rechte treten, aus welchen es durch die nach ihrer gewöhnlichen Einrichtung auch nicht ganz tadelfreie Birnprobe verdrängt worden ist[1].

Ganz die nämlichen Apparate wurden auch bei den Dampfmaschinen von ihrem berühmten Verbesserer J. WATT in Anwendung gebracht. Es sind derselben zweierlei. Das eine Elaterometer dient, um das Vacuum, welches durch die plötzliche Verdichtung der Dämpfe entsteht, oder die Elasticität der übriggebliebenen Dämpfe zu beurtheilen[2], das andere giebt die Kraft der Wasserdämpfe an, welche aus dem Kessel in das Verdichtungsgefäſs übergehen.

Aus dem in der Tiefe stehenden Verdichtungsgefäſse steigt eine eiserne Röhre a b auf, welche bei b umgebogen und niederwärts gehend, bei c wieder aufwärts gerichtet ist; die Verlängerung c d von circa 30 Zollen Länge ist entweder von Glas, oder auch von Eisen und mit einem Schwimmer versehen. Durch das offene Ende d wird Quecksilber hineingegossen, bis es etwa bei f, f in beiden Schenkeln gleich steht. Der Hahn K dient, um den Apparat verschlossen zu halten, bis die Dämpfe abgekühlt sind, weil diese sonst das Quecksilber bei d herauswerfen Fig. 27.

1 S. Art. *Birnprobe*. I. 977.

2 S. Art. *Dampfmaschine* II. 473.

würden. Das Fallen der Flüssigkeit in der Röhre cd gibt d Leere im Verdichtungsapparate zu erkennen. Ist dieser und d Luftpumpe in gutem Stande, so fällt das Quecksilber um 14 b 15 Zolle, was einem Druck von ungefähr eben so viel Pfund auf den Quadratzoll gleich ist[1].

Ein diesem sehr ähnliches Elaterometer bringt CUTHBERT-SON[2] bei seinen Luftpumpen an, und zwar bei den gröſseren n der gewöhnlichen Barometerröhre zugleich, bei den kleiner aber nur dieses allein, und giebt ihm den Namen *Doppelheb* oder *Doppelheberprobe* (double syphon). Dasselbe beste
Fig. 28. aus einer doppelt heberförmig gebogenen Glasröhre abcd, etw über 2 Lin. dick und etwas über eine Linie weit, deren aufste hendes, oben bei d zugeschmolzenes Ende dc bis über d untere Krümmung bei c mit Quecksilber gefüllt und wie ei Barometer ausgekocht ist. Die Zeichnung stellt alle drei Thei der Röhre in einer Ebene liegend dar, zur Ersparung des Ra mes und für die Bequemlichkeit des Aufschraubens ist es ab besser, sie so zu biegen, daſs sie die Kanten eines dre seitigen Prisma bilden. Die so gebogene, gefüllte und gehöri ausgekochte Röhre wird in die männliche Schraubenfassung g gekittet, und vermittelst derselben auf ein mit der Oeffnung d Tellers der Luftpumpe in Verbindung stehendes Rohr geschraub so daſs das Quecksilber in den Schenkel dc herabsinkt, sobal die Elasticität der Luft unter der exantlirten Campane gering ist, als daſs sie die Höhe der Quecksilbersäule dc zu trage vermöchte. Um dann die Differenz der sogenannten *Guericke'sche Leere* unter der Campane und der *Torricellischen* über de Quecksilber im Schenkel cd besser und genauer messen zu kön nen, ist an dem aufstehenden Arme n der federnden und auf d Röhre verschiebbaren Zwinge m die bewegliche elfenbeiner Scheibe ff befestigt, welche etwa einen Zoll hoch, und durc feine Striche in Linien und deren Zehntheile getheilt ist, durc die an zwei Drähten hängende Kugel p stets horizontal gehalte wird, und dadurch das Mittel darbietet, die Höhe der Queck silbersäule in den beiden Schenkeln der Röhre nach Zollen un

1 Das andere Elaterometer, als wesentlicher Theil der Damp maschine ist Th. II. S. 467 beschrieben, und Fig. 150 abgebildet.

2 Description of an improved Air-pump cet. by J. Cuthbertso Amst. 1787. 8. S. 18. Daselbst abgebildet Taf. II. Fig. 9.

deren Theilen scharf zu bestimmen. Der Unterschied derselben giebt dann unmittelbar die Elasticität der unter der Campane noch zurückgebliebenen expansibelen Flüssigkeiten an.

Einfache heberförmig gebogene und auf die angegebene Weise mit Quecksilber im einen Schenkel gefüllte und ausgekochte Glasröhren, werden oft von den Physikern nach dem jedesmaligen Bedürfniſs gröſser oder kleiner verfertigt, um unter die Campane zur Bestimmung des Grades der Verdünnung als Barometer gesetzt zu werden, deren detaillirte Beschreibung indeſs überflüssig scheint. *H.*

Elektricität.

Electricitas; Electricité; *Electricity*. Mit diesem Namen bezeichnet man den Inbegriff gewisser Erscheinungen, welche von einem eigenthümlichen Zustande eines Körpers abhängen, in welchem derselbe leichte Körperchen aller Art, die ihm genähert werden, anzieht, dann wieder zurückstöſst, und bei einer gewissen Intensität dieses Zustandes gegen gewisse ihm genäherte Körper, z. B. den Finger, einen leuchtenden und für das Gefühl stechenden Funken mit einem knisternden Schalle giebt, einen eigenthümlichen, dem des an der Luft sich langsam oxydirenden Phosphors ähnlichen, Geruch verbreitet, und noch andere weiter unten umständlich anzuführende Wirkungen äuſsert, auch andere Körper, die mit ihm verbunden werden, in den Stand setzt, eben diese Wirkungen hervorzubringen. Alles dieses nennt man *Elektricitätserscheinungen*, oder *elektrische Erscheinungen* und den Körper selbst in diesem Zustande *elektrisch*. Bisweilen bezeichnet man auch durch das Wort Elektricität (E) die Ursache dieser Erscheinungen in demselben Sinn, wie man durch das Wort Wärme die Ursache der Wärme-Erscheinungen, durch das Wort Licht die Ursache der Licht-Erscheinungen bezeichnet. Ich werde indeſs in den Artikeln, welche sich auf die E beziehen, dieses Wort in der Regel in dem zuerst aufgestellten Sinne gebrauchen, und wo von der Ursache selbst näher die Rede ist, entweder dieselbe, soferne sie als eine noch nicht hinlänglich genau bestimmte anzusehen ist, durch den allgemeinen Namen *elektrische Materie* oder durch *elektrisches Fluidum* bezeichnen.

Der Name dieser ganzen Lehre hat seinen Ursprung v
dem griechischen Worte des Bernsteins oder Agtsteins ἤλεκτρ
an welchem obige Eigenschaften unter gewissen Umständen
erst bemerkt wurden[1], daher auch einige deutsche Puristen,
der Abt Hemmer in allen von diesem griechischen Worte
geleiteten Worten, das deutsche Agtstein unterschieben wollt
was aber wegen der barbarisch klingenden Zusammensetzung
wie z. B. Beagtsteinkräftigen statt elektrisiren, Beagtsteinkr
tigungsrüstzeug statt Elektrisir-Maschine mit Recht keinen E
gang gefunden hat. Die wahrscheinlichste Ableitung[2] des W
tes ἤλεκτρον selbst aber ist die von seiner anziehenden Kr
hergenommene, die das alte Hellas mit der des Magnetes z
sammenstellte, und welche beide den Thales dahin brachte
auch leblosen Dingen eine Seele zuzuschreiben, — also v
ἕλκειν, ziehen, die härtere Form ἕλκτρον, welche zunächst da
aus hervorgehen würde, zu ἤλεκτρον gemildert, wie etwa ἡμέ
zu ἦμαρ wird. Um derselben Kraft willen, an *Stroh* und F
den und Blättern bemerkt, nannten die Syrer den Bernste
Räuber[3], die Perser *Strohräuber* (Karuba, wovon auch d
noch jetzt den Bernstein bezeichnende Wort Carabe herstammt
der französische Trivialname *tire-paille* ist bekannt. Gleic
wie aber bei uns Deutschen der Name Bernstein nach einer N
beneigenschaft, der Brennbarkeit (bernen, brennen) gebildet i
so ward bei den Griechen das blässere, stark mit Silber g
mischte Gold, welches Herodot[4] *Weifsgold* nennt, weil sei
Farbe an τὸ ἤλεκτρον erinnert, ὁ ἤλεκτρος (χρυσός) genannt

Da die nähere Betrachtung dieser höchst merkwürdigen u
mannigfaltigen Erscheinungen in verschiedene besondere Artik
der Einrichtung eines Wörterbuchs gemäfs vertheilt werd
mufs, so werde ich in diesem allgemeinen Artikel eine Uebe
sicht aller wesentlichen Verhältnisse geben, unter welchen die
Erscheinungen vorkommen können, und von denen ihre wich
tigsten Modificationen abhängen, und zwar dieselben betrachte

1 S. *Geschichte der Elektricität.* pag 315 ff.

2 Diese für manche Leser gewifs nicht uninteressante Notiz ve
danke ich meinen hochgeschätzten Collegen Dahlmann.

3 Plin. H. N. XXXVII. c. 2.

4 Hist. I. 50.

5 Gründlichere Aufklärung giebt Buttmann über das Elektron
Abh. der Berlin. Ak. d. W. 1818—19. S. 38 ff.

1. an sich überhaupt, 2. die Hauptverschiedenheiten derselben, 3. die Mittel sie zu erregen, 4. die Mittel diese Wirkungen weiter zu verbreiten und die Gesetze für diese Verbreitung, 5. die Gesetze für die Hauptformen der elektrischen Thätigkeitsäusserung entwickeln, 6. eine gedrängte Geschichte der Eelektricität und eine Nachricht von den Meinungen der Physiker über die Ursache derselben beifügen und 7. mit einer allgemeinen Betrachtung über das Verhältniſs der Elektricität gegen andere Naturkräfte und über das, was in dieser Hinsicht noch aufzuklären bleibt, schlieſsen.

I. Elektrische Erscheinungen im allgemeinen.

Wenn man eine reine und trockene Glasröhre mit der einen Hand hält, und mit der andern reinen und trockenen Hand, einen wollenen Lappen, oder am besten mit einem mit Amalgam [1] bestrichenem ledernen Lappen durch abwechselndes Auf- und Niederwärtsstreichen reibt, dann aber dieselbe einem kleinen leichten Körper, z. B. einem Stückchen Papier, einem Metallblättchen, oder noch besser, einem kleinen an einem seidenen Faden hängenden Kügelchen von Hollundermark oder Sonnenblumenmark oder Kork nähert, so wird die geriebene Röhre den leichten Körper zuerst aus einer merklichen Ferne anziehen, bald darauf wieder von sich stoſsen, dann, wenn derselbe den Tisch wieder berührt hat, oder das aufgehängte Kügelchen mit dem Finger berührt worden ist, abermals anziehen, und so eine Zeitlang abwechselnd fortfahren.

Wenn man sich der geriebenen und dadurch el. gewordenen Glasröhre mit dem Finger etwa bis auf einen halben Zoll nähert, so sieht man zwischen beiden einen leuchtenden Funken, der mit einem schwachen knisternden Schalle hervorbricht, und im Finger ein schwaches Gefühl von Stechen hervorbringt. Im Dunkeln ist obige Lichterscheinung auffallender, auch sieht man einen bläulichen Schein an der Glasröhre dem Reibzeuge folgen, so wie man dasselbe fortbewegt. Ist die Glasröhre zu solchen Versuchen vorzüglich geschickt, von gutem grünen Glase, und recht gleichförmiger glatter Oberfläche, und hat man sie länger gerieben, so daſs sie recht stark elektrisirt worden ist,

---

1 S. *Elektrisirmaschine und Amalgama.*

so wird man einen eigenthümlichen Geruch wie nach Phosp verspüren, und wenn man ihr mit dem Gesichte nahe kom etwas fühlen, gleichsam als ob ein feines Spinnengewebe gen die Haut flöge.

Diese angeführten Merkmale sind die allgemeinsten der Das erste, die *Anziehung leichter Körperchen*, zeigt sich sc bei den schwächsten Graden derselben; die beiden letzteren s aber nur bei den stärkeren Graden der durch bloſses Reiben regten E. anzutreffen, insbesondere wenn das Glas zu ei eigentlichen Elektrisir-Maschine vorgerichtet, und durch Reibzeug in den el. Zustand versetzt wird. Auch scheint Phosphorgeruch der Glas- oder positiven E. ausschlieſse zuzukommen. Andere el. Erscheinungen äuſsern sich n unter besondern Umständen unh Veranstaltungen.

Eben das, was durch das Reiben des Glases erregt werd kann, erfolgt auch, wenn man ein Stück *Bernstein*, *Cop Colophonium*, *Siegellack*, *Schwefel*, einen *hölzernen* im Bac ofen wohl *ausgetrockneten* und *erwärmten Stock*, *Porcella ein seidenes Band* u. s. w. reibt. Doch stehen diese Körp im Ganzen in Ansehung der Intensität der angeführten Ersche nungen, z. B. was die Entfernung betrifft, bis zu welcher s die leichten Körperchen anziehen u. s. w., dem Glase weit nac zumal wenn ihre Oberfläche mehr rauh, und sie nicht durc Erwärmung vollkommen trocken gemacht sind. Ein feines rec glattes Siegellack kommt dem Glase am nächsten. Sehr oft be merkt man, daſs solche, durch Reiben el. gewordene Kö per, leichte Papier- oder Strohstückchen, Metallblättchen s. w. zwar anziehen, aber dann nicht wieder abstoſsen, sonder letztere daran hängen bleiben, welcher Fall vorzüglich dann sta findet, wenn die erregte E. nur schwach ist, und sich daru mit mehr Schwierigkeit von der geriebenen Oberfläche, vol lends wenn diese recht glatt ist, mittheilt.

Man kann im Allgemeinen sagen, daſs beim Reiben alle Körper dasselbe wie beim Glase eintritt, nur bei vielen in ei nem sehr schwachen Grade, und nur bei Beobachtung ander weitiger Bedingungen, indem z. B. an Metallen, wenn sie, i der Hand gehalten, gerieben werden, auch eine sehr stark Elektricität, die etwa durchs Reiben an ihnen erregt würde nicht zum Vorschein kommen könnte, wegen der augenblick lichen Ableitung derselben.

Solche Körper, wie die oben genannten, die durch Reiben merklich elektrisch werden, heifsen *elektrische an sich* oder *eigenthümlich elektrische, idioelektrische Körper*, und sind zugleich *Nichtleiter* oder *Isolatoren* der E.; die durch Reiben nicht merklich elektrisch zu werden scheinen, wie die Metalle, nennt man *unelektrische*, *anelektrische Körper*, und sie sind zugleich *Leiter* der E. Es lassen sich in Hinsicht dieser Eigenschaft, unter den obenangegebenen Bedingungen durch Reiben el. zu werden oder nicht, womit die Eigenschaft die E. zu leiten oder nicht zu leiten im Ganzen gleichen Schritt hält, alle natürlichen Körper unter die angegebenen zwei Hauptclassen bringen, doch so, dafs die Grenzlinie nicht scharf gezogen werden kann, indem es eben so wenig einen *vollkommenen Leiter*, als einen *vollkommenen Isolator* giebt, und die sogenannten *Halbleiter* den Uebergang von der einen Classe zur andern machen; endlich unter abgeänderten Umständen auch die Leiter durch Reiben merklich el. werden können, worüber das Nähere unter den Artikeln: *Isolatoren*, *Halbleiter* und *Leiter*, so wie unter der folgenden Rubrik nachzusehen ist.

Man nennt die Hand, oder überhaupt das, was den el. Körper reibt, *Reibzeug*, und eine Maschine, die durch ein beständiges Reiben ein Glas oder einen andern an sich el. Körper elektrisirt, eine *Elektrisirmaschine*. Es versteht sich indessen von selbst, dafs beim Reiben zweier Körper an einander jeder wechselseitig als der geriebene oder als das Reibzeug betrachtet werden kann.

Wenn man an das Ende der elektrisirten Glasröhre einen Metalldraht, so lang er auch sey, anbringt, und eine metallene Kugel daran befestigt, so zeigen Draht und Kugel jene el. Haupterscheinung, leichte Körperchen aus der Entfernung anziehen und dann wieder abzustofsen, so wie bei Annäherung des Fingers einen stechenden Funken zu geben, eben sowohl als die Glasröhre selbst. Man sagt daher, die E. der Glasröhre gehe in den Metalldraht und in die Kugel über, oder theile sich denselben mit. Zum Unterschiede nennt man die durchs Reiben erregte E. des Glases *ursprüngliche*, die in das Metall übergegangene aber, *mitgetheilte* E. Verbindet man dagegen die Metalkugel mit der Glasröhre durch eine sei-

dene Schnur, so giebt in diesem Falle die Kugel kein Zeicl einer E. Man sieht hieraus, daſs die Seide die E. ni überführt, oder daſs sie die Mittheilung derselben verhind So verhalten sich alle an sich el. Körper, und eben das ist Grund, warum sie auch Nichtleiter oder Isolatoren gena werden. Der Medalldraht in dem ersten Falle leitete die der Glasröhre in die Kugel, das thun auch alle sogenann unelektrischen Körper, und eben darum heiſsen sie *Leiter* o *Conductoren*.

Wenn ein Körper mit lauter Nichtleitern umgeben ist, heiſst er *isolirt*. Da die trockene Luft unter die Nichtleiter g hört, so ist ein Körper, der in trockener Luft an seidenen Schn ren hängt, auf einem Glasfuſse oder Harzkuchen und dgl. ste isolirt. Ein solcher Körper kann seine E. nicht mittheil weil er lauter Nichtleiter berührt, die sie nicht überführen. jedoch keiner von diesen Körpern ein absoluter Nichtleiter i so wird auch der am besten isolirte Körper durch eine langsa Ableitung seine E. doch allmälig verlieren.

Das Wasser und alle flüssigen Körper, Luft und Oele au genommen, sind Leiter. Daher verwandeln sich alle Nich leiter in Leiter, wenn sie feucht werden, da, wie wir in d Folge sehen werden, die E. im gewöhnlichen Falle nur der Oberfläche der festen Körper fortgeleitet wird, und folgli dann an der Oberfläche die Schicht eines Leiters findet, so di nen die Körper um so weniger zum Isoliren, je stärker ih hygrometrische Eigenschaft ist. Selbst die Luft leitet, we sie feucht ist; daher kommt es, daſs el. Versuche in feucht Zimmern schlecht oder gar nicht gelingen, weil jeder elektrisir Körper seine E. bald an die ihn berührende Luft abgieb Der feuchte Erdboden ist ein sehr guter Leiter, durch eine le tende Verbindung mit demselben, oder mit einem flieſsend Wasser, welches mit der ganzen Wassermasse der Erdkugel i Verbindung steht, vermag man die stärkste E. abzuleiten, u jede Wirkung eines Körpers, die von sogenannter freier abhängt, aufzuheben.

II. Entgegengesetzte Elektricitäten.

Die Person, welche die Glasröhre reibt, oder überhau das Reibzeug wird durch dieses Reiben zugleich mit elektrisir

ist es mit Leitern, und durch diese mit dem Erdboden verbunden, so wird man seine E. zwar nicht wahrnehmen, weil sie sich augenblicklich durch ~~durch~~ die Leiter der Erde mittheilt, ist es aber isolirt, so zeigt es die für den el. Zustand im allgemeinen charakteristischen Erscheinungen gleichfalls. So werden z. B. zwei Personen, welche beide auf einem kleinen, durch Gefäfse wohl isolirten Schemel, einem sogenannten Isolatorium[1] stehen, und wovon die eine die Kleider der andern mit einem recht trockenen Katzenfelle wiederholt schlägt, beide dann leichte Körperchen anziehen, und sich auch wohl, wenn der Versuch unter den günstigsten Umständen angestellt wird, wechselseitig einen kleinen Funken geben. Aber es findet sich zwischen der E. der Röhre und des Reibzeugs oder jener beiden Personen ein merkwürdiger Unterschied, der durch die nachfolgenden Versuche ausgemittelt wird.

Wenn ein leichter isolirter Körper, z. B. ein an einem seidenen Faden hängendes Kügelchen von Hollundermark der Röhre genähert, von ihr angezogen und dann wieder zurückgestofsen worden ist, so wird dieses Kügelchen, wofern es nicht inzwischen einen Ableiter zur Erde berührt hat, nicht weiter von der Röhre angezogen, sondern zurückgestofsen. Nähert man ihn aber in diesem Zustande dem Reibzeuge, vorausgesetzt, dafs dasselbe an sich ein Nichtleiter ist, oder im Falle es ein Leiter ist, auf eine schickliche Weise beim Reiben mit einer isolirenden Handhabe gehalten wurde, so zieht ihn dieses stark an. Es stöfst ihn aber dann, nach erfolgter Berührung, wieder ab, und in diesem Zustande der Abstofsung zieht ihn nun die Röhre von neuem an.

Mehrere bewegliche isolirte, z. B. an feinen seidenen Fäden hängende Kork- oder Hollundermarkkügelchen, welche die Röhre angezogen und dann wieder abgestofsen hat, stofsen sich unter einander selbst zurück. Auch Kügelchen, welche das Reibzeug angezogen und wieder abgestofsen hat, stofsen einander selbst ab. Beide behalten dieses Merkmal der E., wenn sie gut isolirt sind, was vorzüglich eine recht gut isolirende, also eine recht trockene Luft voraussetzt, eine ziemliche Zeitlang. Bringt man aber ein Kügelchen, das die Röhre berührt hat, gegen ein solches, welches das Reibzeug berührt

---

1 Vergl. *Isolatoren.*

hat, so ziehen beide einander an, und verlieren (vorausges dafs sie gleich sind, und die el. Spannung beider gleich g ist) sofort ihre E. gänzlich, so dafs auch nicht die mind Spur davon zurückbleibt, und werden dann beide gleichmä sowohl vom Reibzeuge als von der geriebenen Glasröhre an zogen.

Wenn man Gröfsen, die beim Zusammenkommen ein der vermindern, und wenn sie gleich sind, aufheben, ent gengesetzte nennt, so kann man hier die Elektricitäten des (ses und seines Reibzeuges als entgegengesetzte betrachten, t nach der Analogie entgegengesetzter Gröfsen mit dem Zeicl + und — E. belegen, wobei, da überhaupt nur zunäc dieser Gegensatz ausgedrückt werden sollte, willkürlich + oder — der einen oder andern E. beigelegt werden kön aus andern, in der Folge zu entwickelnden Gründen aber E. des Glases das + Zeichen erhalten hat.

Die angeführten Erscheinungen geben alsdann den Sa *Gleichartige Elektricitäten stofsen sich zurück, ungleich tige ziehen sich an.* Die Glasröhre zog die Hohlunderma kugel an, theilte ihr + E. mit, und stiefs sie darauf zurü weil beide nur + E. hatten. Derselbe Fall fand in Hinsi auf die vom Reibzeuge angezogene Kugel statt, und eben stiefsen die mehreren Kugeln die + E. oder — E. hatt einander zurück. Aber eine mit + E. und eine mit — zogen sich an und hoben durch ihre wechselseitige Einw kung auf einander und Ausgleichung ihrer Elektricitäten a E. auf, weil + E — E von wechselseitig gleicher Stär = 0 ist.

Reibt man statt der Glasröhre eine Stange Siegellack oc einen Harzkuchen mit der Hand, oder noch besser mit ein Hasen- oder wildem Katzen-Balge, so bekommt das Sieg lack, das Harz dieselbe E., welche in dem obigen Versucl wo Wollenzeug, Seidenzeug, oder ein mit Amalgama eing riebener Lappen von Leder zum Reiben angewandt wurde das Reibzeug angenommen hatte, und welche wir vorläufig E. genannt haben, und das Reibzeug, wenn es isolirt i bekommt die E. des Glases, oder + E. Denn ein Hc lundermarkkügelchen, dem man an einer geriebenen Glasröh die Glaselektricität oder + E. gegeben hat, und welch von dieser dann zurückgestofsen wird, wird von der gerieb

einer Siegellackstange, oder von einer Hollundermarkkugel, die durch Berührung der Siegellackstange die E. derselben angenommen hat, angezogen, und von dem Reibzeuge, oder einer Kugel, die die E. desselben erhalten hat, abgestofsen. Daher hat DU FAY, der die entgegengesetzten Elektricitäten zuerst bemerkte [1], ihnen den Namen der *Glas-* und *Harz-Elektricität* (electricité vitreuse et resineuse) beigelegt, eine Benennung, welcher die französischen Physiker seitdem treu geblieben sind. FRANKLIN nannte sie positive und negative oder Plus und Minus E., weil er die Erscheinungen der Glas E. von einem Ueberflusse oder einer Anhäufung der E. die der Harz E. dagegen von einem Mangel oder Entziehung derselben E. herleiten zu können glaubte, und LICHTENBERG [2] hat dafür die bequemeren Beziehungen + und — eingeführt, die über die Natur dieser beiden Elektricitäten an sich nichts entscheiden, sondern nur die Uebereinstimmung ihres wechselseitigen Verhaltens mit dem von entgegengesetzten Gröfsen gegen einander ausdrücken sollen, welche ich hier durchgängig beibehalte.

Alle el. Erfahrungen bestätigen den Hauptsatz, und die Theorie hat die Nothwendigkeit dieses Erfolges nachzuweisen, dafs nämlich beim Reiben zweier Körper an einander, wenn dadurch E. erregt wird, das Reibzeug, wenn es isolirt ist, allezeit die entgegengesetzte E. von derjenigen zeigt, welche der geriebene el. Körper erhalten hat. Man kann aber fast allen el. Körpern nach Belieben + E. oder — E. geben, je nachdem man das Reibzeug oder andere Umstände beim Reiben verändert. Um dergleichen Versuche anzustellen, ist es nothwendig, beide Körper, die man an einander reiben will, zu isoliren. Sind sie starr, so kann man sie am passendsten an Handhaben von Glas oder Harz befestigen. Ist es thunlich, so thut man am besten, die Substanzen in Form von Platten anzuwenden, um sie in einer gröfsern Oberfläche an einander zu reiben. Man kann auf diese Weise einen starren Körper, und ein Stück Zeug, oder auch zwei Stücke Zeug, Pelzwerk u. s. w. an einander reiben. Hat

1 Mémoires de Paris 1733.

2 Comment. super nova methodo etc. in Comment. Societ. Gotting. Class. Math. Tom. I.

man das Reiben einige Augenblicke fortgesetzt, so trennt beide Körper, und prüft ihre E., indem man sie an der lirenden Handhabe hält. Man erkennt und unterscheidet am leichtesten vermittelst eines Kork oder Hollundermark gelchens, das an einem seidenen Faden an einem Glasstäbc isolirt herabhängt, und dem man zuvor eine beliebige mitgetheilt hat, oder die schwächsten Grade noch sichere einem Goldblatt-Elektrometer[1]. Man theilt den Goldblättc desselben entweder + oder — E. mit, wodurch sie nur einen gewissen Winkel divergiren. Findet die Divergenz du + E. statt, so wird bei Annäherung eines Körpers, der gleiche E. hat, die Divergenz zunehmen, bei Annähern eines mit — E. versehenen dagegen abnehmen. Bei st ker E. der gegebenen Körper muſs man vorsichtig mit Annäherung derselben seyn, und die Art der Veränderung mal bei den so empfindlichen Goldblättchen, schon aus einer g ſsen Entfernung versuchen, denn nach dem Gesetze der Wirkungskreise kann bei schneller Annäherung, wenn z. die Goldblättchen mit — E. divergiren, eine starke posit E., welche schon aus gröſserer Entfernung das schwa — E. gebunden und die Divergenz aufgehoben hat, du dann erfolgende Vertheilung von 0 und Zurücktreibung v + E. eine neue gleiche Divergenz, wie sie im Anfange v — E. herrührte, hervorbringen, welche bei weiterer An herung zunimmt, und dadurch die Täuschung veranlassen, wenn der el. Körper mit — E. einwirkte. Umgekel gilt dasselbe in Beziehung auf die durch + E. divergire den Goldblättchen, wenn ein mit starker negativer E. ve sehener Körper zu schnell genähert wird. Am einfachsten, leic testen und sichersten bedient man sich des durch Behrens u Bohnenberger angegebenen Blattgold-Elektrometers, welch die Art der mitgetheilten E. unmittelbar angiebt. St eines Elektrometers kann man auch ein einfaches, sehr bewegl ches an einem seidenen Faden von einem Glasstabe herunterha gendes Hollundermarkkügelchen, dem man vorher + oder — mitgetheilt hat, in Anwendung bringen, das durch die erfolg Anziehung oder Abstoſsung die mit der seinigen ungleichartig oder gleichartige E. des geriebenen Körpers verrathen wir

---

1 S. *Elektrometer.*

Eine besondere Art, diese Versuche über die Erregung der E. durch Reiben der Körper an einander anzustellen, ist das Durchsieben der Körper in Pulvergestalt durch Siebe von verschiedenen Beschaffenheit, wobei gleichfalls eine Reibung statt findet, weil die Siebe jedesmal die entgegengesetzte E. des durchgesiebten Pulvers zeigen. Wenn man auf diese Weise ein Gemenge von zwei Pulvern z. B. Mennig mit Schwefelblumen oder semen lycopodii gemengt und in ein leinenes Läppchen gebunden, auf positiv und negativ elektrisirte Stellen einer Glas- oder Zinnplatte beutelt, so wird dasjenige Pulver, das an dem andern negativ geworden ist, von den positiven, das andere von den negativen Stellen angezogen, jene Stellen stellen Sterne, diese runde Flecken dar [1].

Es sind dergleichen Versuche von der Zeit an, dafs Dufay zuerst den Unterschied der beiden Elektricitäten entdeckt hat, von sehr vielen Physikern angestellt worden, unter denen besonders Boulanger [2], Symmer [3], Wilson [4], Cigna [5], Wilke [6], Bergmann [7], Herbert [8], Kortum [9], Aldini [10], v. Arnim [11] und andere genannt zu werden verdienen. Man hat aus diesen Versuchen Tabellen gezogen, in denen sich leicht übersehen läfst, welche E. gegebene Körper erhalten, wenn sie mit andern gerieben werden. Cavallo, Lichtenberg [12], Haüy [13] der sehr viele Mineralien in dieser Hinsicht prüfte, Dondorf [14] haben namentlich dergleichen Tabellen geliefert. Am vollständigsten

---

1 S. *Figuren elektrische.*

2 Traité de la cause et des phénomènes de l'électricité. Paris 1750. 8.

3 Phil. Transact. L. 1. P. I. n. 36.

4 Ebend. 1760. vol. LI.

5 Miscellan. Societ. Taurinens. anni 1765 S. 31 u. f.

6 De electricitatibus contrariis Rostock 1757.

7 Dessen Opusc. phys. et chem. Edit. Hebenstreit V. 399.

8 Theoria phaenomenorum electricorum. Editio altera et emendata. Vindob. 1788.

9 Voigt's Mag. X. St. 2. S. 1. Cavallo a. a. O. II. 19.

10 G. IV. 422.

11 G. V. 33.

12 In Erxlebens Anfangsgründen.

13 Der Naturlehre VI. Auflage 1794. S. 478.

14 Lehre von der Elektr. Erfurt 1784.

hat aber J. W. Ritter[1] diesen Gegenstand bearbeitet. D: hat nicht bloſs alle Versuche seiner Vorgänger in einer R von Tabellen zusammengestellt, sondern sich auch bemüht, wisse allgemeine Gesetze aufzustellen, nach welchen sich voraus die Art der E., welche von je zwei an einander ge benen Körpern jeder derselben erhält, bestimmen läſst, welche auf die Kräfte selbst, welche hierbei thätig sind, l leiten können. Was zuerst die ideoelektrischen Körper oder Isolatoren betrifft, mit welchen dergleichen Versuche am häu sten angestellt sind, so sucht Ritter für diese das Hauptge: zu begründen, daſs sie eine groſse el. Spannungsreihe einander bilden, die der Hauptsache nach dieselben Eigenscl ten besitze, welche die Spannungsreihe der Erreger des G vanismus, die durch bloſse wechselseitige Berührung das Gleichgewicht stören, charakterisirt[2]. An dem einen Ende Reihe würde ein mit allen übrigen Isolatoren negativ, an d andern ein mit allen übrigen positiv werdender Körper sich l finden, und die Körper so auf einander folgen, daſs der d negativen Ende näher liegende mit allen darauf folgenden neg tiv, diese positiv durch Reiben mit ihm werden. Die Möglic keit der Anordnung der Isolatoren in eine solche Spannungsrei beruhet auf dem Erfahrungssatze, daſs wenn von drei Körpe a, b, c der Körper a mit dem Körper b positiv, letzterer neg tiv, und b mit c positiv, letzterer negativ wird, um so me auch a mit c positiv ausfallen werde. Dem Gesetze der galv nischen Spannungsreihe gemäſs, wenn es in seinem vollen Ur fange hier seine Anwendung fände, müſste ferner jeder Körp a, der dem negativen Ende näher steht, mit irgend einem Kö per x um so stärker negativ, und dieser um so stärker posit damit werden, je mehrere Körper in der Reihe zwischen diese beiden sich befinden, oder je näher jener Körper x dem posit ven Ende stände. Vergleicht man nun die mannichfaltigen Ve suche, die von so vielen Experimentoren angestellt worde sind, unter einander, so scheint sich wirklich eine solche de besagten Spannungsgesetze unterworfene Reihe zu ergeben Folgende Tabelle stellt einige der bekanntesten Isolatoren diesem Gesetze gemäſs geordnet auf:

---

1 Das elektr. System der Körper. Leipzig 1805.

2 S. *Galvanismus.*

— *Schwefel, Bernstein, Colophonium, Siegellack, schwarze Seide, weiſse Seide, Papier, Wolle, Glas, Turmalin, Hasenfell, Kaninchenfell, Diamant, Katzenfell* +

— Von diesen Körpern wird der dem obern negativen Ende näher liegende Körper mit allen darauf folgenden negativ, und der mit ihm positiv, so daſs also gleichsam der Schwefel der absolut negative, Katzenbalg der absolut positive ist. Aber nicht bloſs die Isolatoren unter sich, sondern auch die Isolatoren und Leiter, scheinen eine solche, beide zugleich umfassende, Reihe zubilden, von welcher beifolgende Aufzählung einige der merkwürdigeren in ihrer gesetzmäſsigen Folge zeigt:

— *Schwefel, natürliches Braunstein-Oxyd (Grau Mangan-Erz), schwarze Seide, Silber, Wolle, Kupfer, Glas, Zink, Diamant* +

Ritter zieht aus dieser zweiten Zusammenstellung, verglichen mit der Spannungsreihe der galvanischen Erreger, welche zugleich die Reihe der Leiter ist, das allgemeine Resultat: daſs die *Spannungsreihe der Leiter mit derjenigen der Isolatoren nur eine allgemeine Spannungsreihe ausmache*, indem die Glieder der Reihe der Leiter zwischen denen der Reihe der Isolatoren eben so vertheilt, als gegen sich unter einander selbst liegen; und so umgekehrt auch die Glieder der Reihe der Isolatoren, zwischen denen der Reihe der Leiter, und die Zwischenräume in der einen gleichsam nur die Lücken waren, die durch die Glieder der andern ausgefüllt wurden, daſs es nur *ein* el. System giebt, welches Alles und Jedes, was von Körpern überhaupt auf Erden ist, umfaſst.

Ritter hat einige interessante Ansichten über die Abhängigkeit dieses merkwürdigen und gesetzmäſsigen Verhaltens der Körper in der Elektricitätserregung durch Reibung von anderweitigen Eigenschaften derselben aufgestellt, Ansichten, welche für die Theorie der Elektricitätserregung überhaupt wichtig sind, eine Theorie, welche dahin streben muſs, diese Erregung, geschehe sie nun auf gewöhnlichem Wege, durch eine dem ersten Anscheine nach bloſse mechanische Einwirkung der Körper auf einander oder auf galvanischem Wege durch einen sogenannten chemischen Proceſs, wie die meisten Physiker anzunehmen geneigt sind, wo möglich aus *einem* Principe abzuleiten. In der Reihe der vollkommenen Leiter scheint allerdings eine solche Eigenschaft nachgewiesen werden zu können, von welcher die

Stelle, welche ein Körper in dieser Reihe einnimmt, gesetzmäſsig abhängt, nämlich der Grad der Oxydirbarkeit desselben oder seiner Verwandtschaft zum Sauerstoff, so zwar, daſs im geraden Verhältnisse derselben ein Körper näher nach dem positiven Ende zu gelegen ist, und von je zwei solchen Leitern der oxydirbarere stets der positive wird. Dagegen scheint es mehr Schwierigkeit zu haben, eine, dasselbe Gesetz befolgende Abhängigkeit der Isolatoren in ihrem el. Verhalten unter einander und mit den Leitern nachzuweisen, da sehr viele Isolatoren sich einem solchen chemischen Processe, nach welchem die Oxydirbarkeit bestimmt wird, gänzlich entziehen. Vielmehr bestimmen hier mehr gewisse physische Eigenschaften und insbesondere die Beschaffenheit der Oberfläche vorzugsweise dieses Verhältniſs. In dieser Hinsisht scheint besonders die *Rigidität* oder der *Grad* der *Starrheit* und die Modification derselben welche durch Härte und Weichheit bezeichnet wird, einen vorzüglichen Einfluſs zu äuſsern. Die härtesten unter den Isolatoren sind auch diejenigen, welche vorzüglich geneigt sind, positive Elektr. anzunehmen, und der härteste unter allen, der Diamant, ist auch der am meisten positive. Alle wirklichen Edelsteine, die härter als Glas sind, werden mit diesem positiv das Glas negativ. Bernstein ist härter als Schwefel, und wird auch mit diesem positiv, Siegellack ist härter als Talk und Bildstein, und weicher als Glimmer; mit ersterem wird er Hauy's Versuchen zufolge, positiv, mit letzterem negativ. Auch die Art, wie die verschiedene Temperatur, welche die Rigidität modificirt, zugleich das elektrische Verhalten der Körper gegen einander bestimmt, stimmt mit dem angegebenen Gesetze überein. Jederzeit erhält nämlich von zwei sonst völlig gleichen Exemplaren eines und desselben Isolators beim Reiben an einander der wärmere — E., der kältere + E. von Herbert, der solche Versuche an Schwefel, Siegellack, Seide und Glas anstellte, fand schon einen Temperaturunterschied von nicht 10° R. vollkommen dazu hinreichend[1]. Auch die Art der Vertheilung der Elektricitäten an zwei Körper von gleicher Beschaffenheit, wenn sie so an einander gerieben werden, daſs für den einen der Werth der Reibung gröſser ausfällt, als für den andern, reducirt sich gröſstentheils hierauf. Es gehören hierher al

1 S. dessen Theoria phaenomenorum electricorum. Ed. alt. p. 1[illegible]

Versuche, wenn man Siegellackstangen, Glasstäbe, Wollenfäden, Seidenfäden, seidene Bänder u. s. w. so über einander hinführt, daſs das eine von ihnen hierbei beständig nur an *einer Stelle* gerieben wird, während bei dem andern die Reibung sich über seine *ganze Länge* erstreckt. Die erstere Stelle wird nämlich dabei um vieles wärmer, als die, mit ihr in Conflict kommenden Stellen des andern Körpers, und sobald dieser Unterschied eingetreten ist, geht die ihr proportionale el. Spannungssetzung vor sich, es tritt nämlich die *negative* E. stets an dieser *wärmeren* Stelle auf.

Es läſst sich vielleicht auf diesen Unterschied der verschiedenen Erwärmung beim Reiben auch der Einfluſs zurückführen, den *Glätte* und *Rauheit der Oberfläche* auf die Art der E. hat, die beim Reiben zum Vorschein kommt. Von zwei sonst gleichartigen Körpern nämlich, die an einander gerieben werden, erhält unter übrigens ganz gleichen Umständen beim Reiben derjenige mit rauher oder matter Oberfläche — E. der andere mit glatter dagegen + E. Der Körper mit rauher Oberfläche (das matt geschliffene Glas z. B.) muſs nämlich beim Reiben wärmer werden, womit denn auch die Rigidität relativ abnimmt. Der Einfluſs, welchen bei seidenen Bändern, Taffent die *Farbe* auf die Elektricität, die an ihnen hervortritt, ausübt, scheint auch von der Glätte und Rauheit der Oberfläche abzuhängen, die allerdings durch die Natur des Pigments bestimmt wird, so wie denn weiſse Seide, die sich gegen schwarze, (die ihre Farbe den Galläpfeln verdankt) positiv verhält, in die Kategorie dieser letztern tritt, wenn sie in Galläpfeldecoct getaucht wird. Damit stimmt auch die allgemeine Regel überein, die Coulomb[1] aus seinen Versuchen für die Art der E., die an jedem Körper erscheint, gezogen hat, daſs diejenigen Substanzen, welche sich beim Aneinanderreiben am meisten ausdehnen, welche also die relativ weniger cohärenten werden, — E., jene hingegen, welche sich dabei am wenigsten ausdehnen + E. erhalten. Einen Beleg hierzu giebt nach seinen Versuchen wollenes Zeug, welches *kalt* an polirten Metallen + E., *kalt* an unpolirten Metallen — E., *erwärmt* an polirten und unpolirten Metallen stets — E. giebt.

---

1 Aus dessen handschriftlichem Nachlaſs von Biot in s. Traité de physique expérimentale et mathématique II. 354.

Dafs Körper im Fortgange des Reibens an einander die
erst an ihnen aufgetretenen Elektricitäten in umgekehrter V
theilung zeigen, reducirt sich in manchen Fällen auf die e
angeführten Gesetze. Reibt man z. B. weifses seidenes Z
mit einem Stücke trockenen Papiers, so wird die Seide gewö
lich — el. erwärmt man aber das Papier, so wird di
— el. die Seide + el. Dieses durch die Wärme erregte V
mögen nimmt aber wieder ab, wenn das Papier wieder
kaltet, und es giebt einen Moment, in welchem seine
Disposition der Seide völlig gleich ist; in dieser Periode bri
das Reiben beider Körper kein merkliches Zeichen irgend ei
E. hervor. Ist dieser Zeitpunct vorüber, so werden die U
stände für die Positivität des Papiers durch weiteres Erkal
desselben allmälig noch günstiger, während dieselben der Ne
tivität der Seide gleichgünstig bleiben, und diese tritt dann w
der mit — E., jenes mit + E. auf.

C. H. Müller, der in seinen Anmerkungen zu Singe
Elementen der Elektr. diese und mehrere andere Erfahrung
über die Vertheilung der beiden Elektricitäten an die Kör
beim Reiben zusammengestellt hat, glaubt das allgemeine Pri
cip, aus welchem sich jene gesammten Erfolge bei aller schei
baren Regellosigkeit und Wandelbarkeit gesetzmäfsig ableit
und jedesmal bestimmen lassen, in folgendem Ausdrucke a
naturgemäfsesten aufgefafst zu haben. Werden die Oberfläch
zweier Körper an einander gerieben, so ist diejenige, deren i
tegrirende Theile am wenigsten von einander weichen, und ih
Lage unter sich wenig oder gar nicht verändern, am geneigt
sten + E. anzunehmen, und diese Neigung vermehrt si
durch einen vorübergehenden Druck (das Streben nach Auss
zu wirken ist mit Widerstand gegen Einflüsse und Eindrücke v
Aufsen verbunden). Im Gegentheile erlangt die Oberfläche, der
Theilchen durch die Rauheit der andern Oberfläche oder dur
irgend eine andere Ursache am meisten von einander entfer
werden, hierdurch ein Streben — E. anzunehmen und di
ses Streben vermehrt sich, wenn die Oberfläche eine wirklicl
Ausdehnung erfährt (das Streben, Wirkungen von Aufsen in si
aufzunehmen, ist mit der Eigenschaft des Nachgebens eins
Je mehr in diesem Act die Oberflächen entgegengesetzt sin
desto energischer ist die E., die sich auf ihnen entwickel
und sie wird in dem Mafse schwächer, als sie sich einand

leichen; wäre eine vollkommene Gleichheit möglich, so würde ie Null werden. Wenn auch diese Bestimmung das fragliche Verhältniſs auf ein zu allgemeines des Wirkungsvermögens und der Receptivität, des Widerstandes und des Nachgebens zurückführt, um einen bestimmten Begriff von el. Erscheinungen ... solchen geben zu können, so hat meiner Meinung nach Ritter doch die richtige Beziehung aufgefaſst, und es läſst sich nicht absehen, wie derselben, vor der Hand wenigstens, eine andere auf irgend eine chemische Eigenschaft gegründete, substituirt werden könnte, wie Ritter es zu thun versucht hat, da er Hydrogeneität als Aequivalent der Rigidität aufstellte, und somit das Verhalten der Isolatoren unter einander und mit den Leitern unter dasselbe Gesetz zu bringen bemüht war, das die Leiter selbst befolgen, indem Hydrogeneität als eins mit Oxydabilität betrachtet werden könnte. Wenn auch der Diamant, vermöge seiner rein verbrennlichen Natur, eine solche Parallelisirung noch zulieſse, so sieht man doch auf keine Weise ein, wie von den meisten Edelsteinen und künstlichen Gläsern, welche aus am vollkommensten verbrannten auf's höchste oxydirten Metallen bestehen, Etwas dergleichen behauptet werden kann. v. Arnim[1] sucht die Elektricitätserregung dur Reiben, so wie auf jede andere Weise und die Art der Vertheilung der beiden Elektricitäten unter das allgemeine Gesetz zu bringen, daſs hierbei jedesmal eine Aenderung der Wärmecapacität eintrete, und daſs der Körper, dessen Wärmecapacität im Verhältniſs zu einem andern sich vergröſsert, negativ, derjenige dagegen, dessen Wärmecapacität sich vermindert, positiv el. werde. Die einfache Erfahrung der positiven E. des Wasserdampfes, der negativen des zurückbleibenden Wassers spricht indessen schon dagegen, da ja die Wärmecapacität des Wasserdampfes offenbar erhöhet ist, nicht zu gedenken, daſs bei Reibungsversuchen eine solche Wärmecapacitätsänderung nicht nachgewiesen werden kann.

Uebrigens giebt es noch manche Erfahrungen, die sich bis jetzt unter kein Gesetz recht bequemen wollen, wie namentlich mehrere von Dessaignes[2] beobachtete Erscheinungen, so wie dann auch Umstände, die unserer gewöhnlichen Beobachtung sich vollkommen entziehen, auf die Art der in solchen Ver-

1 *Dessen elektr.* Versuche in G. V. 33.

2 *S. Schweigger's* Journal IX. 111.

suchen zum Vorschein kommenden E. ihren Einfluſs äuſser Der Cyanit (Haüy's Disthène) giebt ein auffallendes Beispi hiervon. Einige Krystalle von diesem Mineral erlangen ve mittelst des Reibens beständig + E. andere — E. und b einigen contrastiren beide Elektricitäten auf zwei entgege gesetzten Flächen, ohne daſs weder Auge noch Gefühl d geringste Merkmal dieses Unterschiedes in Glanz-Politur od Farbe der Flächen entdecken können. Uebrigens hat Hau dem wir diese el. Beobachtung verdanken, das Verhalten d Mineralien beim Reiben mit als ein Unterscheidungskennzeiche derselben von einander in Anwendung gebracht, und eine Meng Versuche zur Ausmittelung desselben angestellt. Um bei Leitern also namentlich den Metallen und Erzen, dieses Verhalten z prüfen, klebte er ein Stückchen des Minerals, das er, wenn e z. B. ein Metall war, zuvor eben feilte, durch Wachs an ein Stange Siegellack, führte es dann 5 oder sechsmal auf einer Stücke Tuch hin und her, und berührte dann damit die Col lectorplatte des Condensators. Diese Operation wiederholte e mehrmals. Wurde dann der obere Deckel aufgehoben, so gin gen die Strohhälmchen des Elektrometers, auf welchen de Condensator aufgeschraubt war, mit + E. oder — E. aus ein ander. Hierbei erhielt er folgende Resultate: + gaben: Zink (stark) Silber, Wismuth (stark) Kupfer, Blei, Eisenglanz — gaben Platin, Gold, Zinn, Antimon, Kupferfahlerz, (stark Kupferglanzerz (stark) Bleiglanz, Schwefelerz (stark) Antimon silber, Glaserz (stark) Kupfernickel, Glanzkobolt, gemeine Speiskobolt, graues Antimonerz, Schwefelkies, magnetische Eisenstein. Im Ganzen zeigte sich dieses Verhalten als ein rein constantes, nur Eisenglanz, magnetischer Eisenstein und auch Stahl zeigten in verschiedenen Exemplaren ein abweichende Verhalten von einander. Die Stärke der E. welche einige annehmen, wie Kupferfahlerz und Kupferglanzerz, die, wenn sie 8—10mal über das Tuch hingeführt sind, die Strohhälmchen zum Anschlagen bringen, ist vorzüglich charakteristisch für die selben[1].

Auch durch Reiben von flüssigen Körpern an starren kön nen ebensowohl die entgegengesetzten Elektricitäten erregt wer den. Dies beweisen schon auffallend genug die luftleer ge-

1 S. Annales du Museum d'histoire nat. III. 309.

machten Röhren, in welchen Quecksilber hin und her bewegt wird[1] und Dessaignes's oben angeführte Versuche beziehen sich vorzüglich auf Elektricitätserregung durch Eintauchen verschiedener Körper in ein Quecksilberbad von verschiedener Temperatur und Wiederherausziehen aus demselben. Doch fehlt es in dieser Hinsicht noch an einer hinlänglichen Anzahl von genauen Versuchen, und die Hauptschwierigkeit hierbei liegt in der Adhäsion der Flüssigkeiten an den starren Körpern. Damit nämlich die durch Reiben erregte E. zum Vorschein komme, ist eine nothwendige Bedingung, daſs die Körper von einander getrennt, und jeder für sich untersucht werde, denn so lange sie sich mit einander in Berührung befinden, binden sich ihre Elektricitäten wechselseitig, und wirken nicht nach Auſsen.

Auch gasförmige Körper erregen durch eine Art von Reibung an den starren Körpern E., wie man daraus ersieht, daſs, wenn man wiederholt mit einem Blasebalge Luft gegen eine Glasplatte hinbewegt, diese auffallende Spuren von + E. annimmt und die Luft folglich — el. geworden seyn muſs.

Wir haben oben gesehen, daſs die beiden Elektricitäten ihre Natur vorzüglich in ihrem Conflicte mit einander verrathen, in welchem sie gleichsam als entgegengesetzte Kräfte gegen einander sich verhalten und sich wechselseitig aufheben. Man kann diesen Gegensatz durch einen Versuch auffallend darstellen. Zwischen zweien Körpern, wovon der eine + E. der andere — E. in gleichem Grade zeigt, sey nun diese E. durch Reibung ursprünglich oder durch Mittheilung von auſsen erzeugt worden, spiele ein dritter leicht beweglicher z. B. eine Hollundermarkkugel an einem seidenen Faden hängend hin und her, und werde wechselsweise von dem einen und dem andern angezogen und abgestoſsen. Dadurch wird immer ein Theil der E. des einen in den andern übergeführt, und neutralisirt, bis endlich beide scheinbar ihre E. völlig verloren haben, d. h. keiner derselben weitere Spuren von el. Wirksamkeit zeigt. Auch wird ein isolirter Leiter gar nicht elektrisirt, wenn er mit einem + el. und einem gleich starken — el. Körper zugleich verbunden ist.

Auſser diesem Gegensatze, der bei der Prüfung gegen die

---

1 S. *Leuchten, elektrisches.*

E. einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange jed
mal die besondere Natur der zu untersuchenden E. anzei
kann man beide Arten von E. auch an den Erscheinun
ihres Lichtes im Dunkeln, ihrer verschiedenen Einwirkung
unsere Sinnenorgane, und ihrem verschiedenen chemischen V
halten unterscheiden, welche Unterschiede jedoch nur un
bestimmten Umständen, bei Anwendung eigenthümlicher V
richtungen und für bestimmte Grade derselben auffallend we
den. Wenn man einem positiv elektrisirten Körper eine l
tende Spitze entgegen hält, so zeigt sich an derselben, je nac
dem sie mehr fein zugespitzt oder etwas abgestumpft ist, e
leuchtender Punct oder Stern mit Zischen begleitet, hält m
hingegen eben diese Spitze gegen einen Körper, der —
hat, so zeigt sich statt des Punctes oder Sternes ein Feue
büschel, dessen violette Strahlen von der Spitze aus divergire
und mit merklichem Knistern wie sich ausbreitende Aeste m
Seitenzweige von einem kurzen Stamme ausgehen. Ist d
el. Körper selbst mit einer Spitze versehen, und hält ma
einen platten Leiter dagegen, so sind die Erscheinungen umg
kehrt, der Stern zeigt sich, wenn der Körper, mit welchem d
Spitze verbunden ist, — E., der Feuerpinsel, wenn d
Körper + E. hat. Indessen ist diese Verschiedenheit, wen
man ohne vorgefaſste Meinung die Erscheinung bloſs an sic
auffaſst, mehr nur eine gradative als specifische, und die For
jener Lichtausströmung gewährt an und für sich kein sichere
Unterscheidungsmerkmal. Was die früheren Vertheidiger de
Franklin'schen Theorie, namentlich Beccaria[1], Cavallo un
andere nur als einen leuchtenden Punct gelten lassen wollten
ist in der That nur ein Feuerpinsel im Kleinen mit wenige
Knistern als beim positiven Feuerpinsel begleitet. Steht ein
nicht zu feine Spitze dem abgerundeten Ende eines durch ein
sehr starke Maschine zu hoher Spannung geladenen Leiters entgegen, so zeigt sich an derselben ein sehr merklicher Feuerpinsel und eine etwas abgestumpfte Spitze, die mit dem Leiter des Reibzeuges meiner sehr kräftigen Elektrisirmaschine[2] verbunden ist, giebt mir im Zustande der vollen Wirksamkeit dieser letzteren einen merklichern und stärker zischenden Feuer-

1 Elettricismo artificiale 1753. 4. S. 63.
2 S. *Elektrisirmaschine.*

pinsel, als eine sehr feine Spitze, die mit dem positiven Conductor einer mittelmäſsigen Elektrisirmaschine verbunden ist. Auch kann ich in der Farbe der Strahlen beider Feuerpinsel keinen wesentlichen Unterschied finden. In dem Falle, wenn zwei Spitzen gegen einander gekehrt sind, wovon die eine mit einem Leiter verbunden ist, dem fortdauernd + oder — E. zugeführt wird, sind an beiden die bestimmten Feuerbüschel auf das deutlichste zu erkennen welche ihre Grundflächen gegen einander kehren, nur daſs bei gleicher Feinheit der Spitzen der gröſsere allemal an derjenigen Spitze ist, welche + E. hergiebt. Daſs aus stumpfen Spitzen die Feuerpinsel ansehnlicher ausfallen, hat seinen Grund in der gröſsern Spannung, zu welcher der Leiter elektrisirt werden kann[1]. Diejenigen Physiker, welche in dem Lichte der negativen Spitze mehr nur einen bloſsen Punct, als einen kleinen Feuerbüschel erblickten, und diesen leuchtenden Punct mehr von einem Ein- als Ausströmen ableiteten, wollten im Allgemeinen den wesentlichen Unterschied zwischen + E. und — E. finden, daſs sich bei verschiedenen Versuchen ein entschiedenes Ausströmen einer Materie aus denjenigen Körpern zeige, welche + E. haben, und ein Eindringen in diejenigen, an welchen — E. sich finde, gerade so als ob das + E. in einem Ueberflusse, das — E. in einem Mangel von el. Materie bestände; wir werden aber an seinem Orte bei der nähern Kritik dieser Versuche, die unter dem Artikel: *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische,* ihre Stelle am schicklichsten finden, nachzuweisen suchen, daſs sie dieses auf keine Weise darthun, daſs vielmehr ebensowohl aus dem — E. habenden Körper etwas auszuströmen, oder vielmehr von ihm in den Raum hinaus mit bewegender Kraft thätig zu seyn scheint, als aus dem + el. Ein merkwürdiges Unterscheidungsmerkmal für die beiden Arten von E. hat Lichtenberg in den verschiedenen Harzstaubfiguren, welche sie unter gewissen Umständen hervorbringen, nachgewiesen[2].

Die verschiedene Art der Einwirkung beider Elektricitäten auf unsere Sinnenorgane zeigt sich nur in ganz einzelnen Fällen, und wird bei Betrachtung der Wirkungen der Volta'schen Säule

---

1 S. *Spitzen.*

2 S. *Elektrophor.*

näher erörtert werden. Nur möge hier vorläufig die Bemerkı stehen, daſs der aus Spitzen ausströmende positive Feuerbüsc auf der Zunge einen sauern Geschmack, der negative dage; mehr eine brennende Empfindung verursacht. Auch die mei würdige Verschiedenheit in dem chemischen Verhältnisse (beiden Arten von E., wodurch man sie in bestimmten F len erkennen und von einander unterscheiden kann, wird schicklichsten unter dem Artikel *Galvanismus* näher beleuc tet werden.

III. Erregung der ursprünglichen Elektricität.

Es giebt wohl keine Art von Naturprocessen, in welch zwei auf irgend eine Art verschiedene Körper oder Materien Wechselwirkung mit einander treten, ohne daſs zugleich d el. Gleichgewicht zwischen ihnen gestört, und dadurch in Thätigkeit gesetzt würde. Diese Störung des el. Gleic gewichtes ist nach Verschiedenheit der Umstände und Bedi gungen des Processes entweder von der Art, daſs die Elektric täten mit freier Spannung auftreten, und in relativer Ruhe, j doch mit dem Bestreben, sich wieder auszugleichen, an d Oberfläche der Körper verweilen, oder daſs sie in einer for dauernden Strömung, in einer Art von el. Kreislaufe a Folge des Processes selbst, durch welchen das Gleichgewic gestört worden ist, sich wieder ausgleichen. Die erstere Art vc Elektricitätserregung wird durch die Reaction auf das Elektr meter, die letztere am besten vermittelst eines *Galvanometer* durch die Wirkung auf die Magnetnadel erkannt. Im erster Falle haben wir es mit den reinen Wirkungen der E., i letztern mit den Wirkungen des Stromes, in welchem die I mehr unter der Form des Magnetismus auftritt, zu thun. I gewissem Sinne läſst sich behaupten, daſs dem Strome stets ein el. Spannungssetzung vorangehe, oder daſs zur Bewirkun des Stromes mit den Bedingungen, unter welchen von der eine Seite das el. Gleichgewicht gestört wird, sich zugleich di Bedingungen vereinigen, unter welchen nach der andern Seit hin wieder eine Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts ein treten kann[1].

---

1 S. *Galvanismus*.

Was nun die Processe selbst betrifft, so lassen sie sich unter gewisse Hauptclassen bringen, nach Verschiedenheit der Kräfte, welche hierbei thätig sind, der Natur der Körper selbst, die auf einander wirken, und der Veränderungen der Körper, die dadurch bewirkt werden. Entweder wirken die Körper im Conflicte mit einander mehr mechanisch auf einander, oder sie wirken chemisch. — Dann findet der Conflict entweder zwischen den ponderabeln Körpern unter einander statt, oder zwischen diesen und den Impoderabilien (Licht, Wärme und Magnetismus), und endlich sind die in den Körpern hervorgebrachten Veränderungen bloſse Veränderungen ihrer physischen Eigenschaften, insbesondere ihrer Cohäsion und ihres Aggregatzustandes, oder es sind damit zugleich Qualitäts- oder Mischungsveränderungen verknüpft.

Was die erste Art der Einwirkung der Körper auf einander betrifft, so wird hierbei vorausgesetzt, daſs die Störung des el. Gleichgewichts der mechanischen Einwirkung selbst proportional sey. Diese mechanische Einwirkung setzt also eine bewegende Kraft voraus, wobei die Gröſse der Bewegung selbst das bestimmende Moment wäre. Indeſs giebt es wohl keinen el. Conflict, bei welchem nicht zugleich die eigenthümliche Qualität der Körper neben der Gröſse der Bewegung, mit welcher sie auf einander einwirken, in Betrachtung käme, welche also nicht aus diesem Gesichtspuncte zugleich eine chemische oder eine chemisch-dynamische wäre, insofern die eigenthümliche Qualität eines jeden Körpers der Ausdruck seines inneren Kräfteverhältnisses ist.

Die erste leiseste mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist die der bloſsen *wechselseitigen Berührung*. Sie allein reicht schon hin zur Störung des el. Gleichgewichts und kann in gewisser Hinsicht als die reichste Quelle der Elektricitätserregung in der Natur betrachtet werden. Von ihr wird unter dem Artikel *Galvanismus* näher gehandelt werden. Die nächste Stufe der mechanischen Einwirkung der Körper auf einander ist *reiner Druck* ohne Reibung. Coulomb hat zuerst auf die E. aufmerksam gemacht, die von einem schnellen Druck abhängt, nach ihm hat Dessaignes die Sache weiter verfolgt, aber mannigfaltige Anomalien und Regellosigkeiten in den Wirkungen des Druckes nach Verschiedenheit der begleitenden Umstände beobachtet; auch Hauy machte gelegentlich eine der-

gleichen Beobachtungen namentlich an kleinen Kalkspathk stallen, die durch den Druck zwischen den Fingern lange stark el. werden, besonders aber hat BECQUEREL in neu Zeiten eine Reihe interessanter Versuche über die Erreg der E. durch Druck bekannt gemacht [1]. Er bediente sich seinen Versuchen kleiner Stäbchen von ¼ bis ½ Zoll Durchm ser, wovon jedes durch etwas Siegellack an einen Glasstab, selbst an einer hölzernen Handhabe gehalten wurde, befes war. Ist bloſs die eine Scheibe isolirt, so bemerkt man E. auch bloſs an dieser. Auch weichere Körper werden du Druck el. z. B. Kork, Caoutchouc, frische Pommeranz schalen, selbst zähe Flüssigkeiten, z. B. Terpentin über d Feuer eingedickt, wenn es durch eine Korkscheibe gedrü wurde. Je schneller die Trennung der Scheiben nach d Druck bewirkt wird, um so stärker fällt die E. aus, glei sam als bekäme sie durch Langsamkeit Zeit, gröſstentheils w der ins Gleichgewicht zu kommen. Wenn eine oder be Scheiben aus Isolatoren bestanden, so erfolgte diese Wied herstellung langsamer, und innerhalb einer gewissen Zeit zei ten daher solche Scheiben nach einem vorhergegangenen stärk ren Druck stets eine stärkere E., als der Druck, dem sie z letzt unterworfen waren, für sich allein hervorgebracht hät Man konnte also gleichsam den Druck als die Kraft betracht welche, so lange er bestand, und nach dem Maſse, in w chem er bestand, die Störung des el. Gleichgewichts unte hielt, und das Streben der beiden getrennten Elektricitäten z Wiedervereinigung balancirte, welches beim Nachlassen d Druckes dann nur noch einigermaſsen durch den Widerstan den die isolirende Eigenschaft leistete, beschränkt wurde. B standen daher die beiden Scheiben aus vollkommenen Leiter so zeigten sie eben daher keine Spur von E., weil in dem A genblicke des Aufhörens des Drucks, der dem Augenblicke d Trennung gleichsam voraus ging, die Bedingung zur Wiede vereinigung beider Elektricitäten und zur Ausgleichung des g störten Gleichgewichts in der vollkommenen Leitungsfähigke beider Körper gegeben war.

Auch in der Erregung der E. durch Druck scheint in Al sicht auf die Art von E., die an jedem der beiden Körper au

---

1 An. de Chemie et de Physique Tome XXII. p. 1.

tritt, das allgemeine Gesetz zu herrschen, welches oben für die Erregung der E. durch Reibung aufgestellt worden ist, dafs wenn von einer Reihe von Körpern a, b, c u. s. f. a im Conflicte mit b positiv, letzteres negativ, und in dem Conflicte von b mit c, ersteres positiv, letzteres negativ wird, dann auch a mit c positiv ausfällt. So wurden z. B. in jenen Versuchen BECQUEREL's Kork, Caoutchouc und Orangenschalen, von denen isolirte Scheiben an einander gedrückt wurden, die Orangenschalen mit Caoutchouc —, dieses +, der Kork mit dem Caoutchouc + dieses —, aber auch der Kork mit den Orangenschalen +, diese —, so dafs also von dem positiven Ende ausgegangen, diese drei Körper so auf einander folgen: + Kork, Caoutchouc, Orangenschalen —. Ob übrigens die Körper in Absicht auf die Erregung der E. durch den blofsen Druck dieselbe Ordnung wie bei der Erregung durch Reibung beobachten, läfst sich aus dem Mangel an einer hinlänglichen Anzahl von Versuchen bis jetzt nicht mit Sicherheit entscheiden, ist indessen nach den bereits vorhandenen sehr zweifelhaft. Die meisten Versuche, die darüber entscheiden können, hat BECQUEREL mit einer Korkscheibe in Absicht ihres Verhaltens gegen verschiedene andere Körper angestellt. Mit isländischem Doppelspath, Flufsspath, Gyps, Glimmer, Schwerspath, mit allen thierischen Theilen, wenn sie nicht feucht sind, wird die Korkscheibe negativ, jene werden positiv, dagegen mit Cyanit, Retinasphalt, Steinkohlen, Bernstein, Kupfer, Zink, Silber, den Haaren des Menschen und der Thiere wird eben diese Korkscheibe positiv, jene werden negativ. Hygrometrische Feuchtigkeit verhindert die Elektricitätserregung durch Druck, und jene oben angegebenen Körper, wie Flufsspath u. s. w. müssen daher vorher gelinde erwärmt werden, um sie von der anhängenden Wasserhaut zu befreien. Auch die Wärme äufsert einen bedeutenden Einflufs auf diese Phänomene, und modificirt sie im Wesentlichen auf dieselbe Art, wie bei der Elektricitätserregung durch Reiben. Der Unterschied der Temperatur ist allein hinreichend, zwischen zwei Scheiben, die sonst in allem vollkommen gleichartig sind, und die also eben so wenig durch Druck als durch Reiben Elektricitätserregung zeigen würden, diese zu vermitteln. Zwei ganz gleichartige Scheiben eines vollkommen trokkenen Korks, die man dadurch erhält, dafs man denselben mit einem recht scharfen Messer in der Mitte durchschneidet, zei-

gen auch nach dem stärksten Druck bei der Trennung ke
Spur von E.; erhöht man aber die Temperatur der einen an
ner Lichtflamme, so tritt sogleich E. auf, und zwar negat
an dem wärmeren. Dasselbe gilt auch für zwei Scheiben
Doppelspath, wenn selbst die Verschiedenheit der Tempera
beider nur sehr geringe ist. Erhitzt man eine Scheibe Dopp
spath hinlänglich stark, so wird sie zuletzt mit einer Korksche
negativ, mit der sie sonst bei Gleichheit der Temperatur o
bei geringem Uebergewichte ihrer Wärme stark positiv wird.

So weit die Versuche gehen, scheint die Stärke der erreg
E. mit der Stärke des Drucks zuzunehmen, wovon sich Be
querel durch einen sehr genauen el. Versuck überzeugt hat.

Becquerel leitet das Licht, das in manchen Fällen be
heftigen Stoſsen verschiedener Körper entsteht, aus dieser Que
her. So will man im Eismeere oft ein lebhaftes Licht beme
haben, wenn groſse Eismassen an einander stoſsen. Sie müss
in diesem Stoſse eine starke Zusammendrückung erfahren, w
che jede dieser Massen in einen in Beziehung auf die ande
entgegengesetzt el. Zustand versetzt. In dem Augenblicke,
welchem der Druck aufhört, verbinden sich die beiden Ele
tricitäten wieder wegen der relativ groſsen Leitungsfähigkeit d
Eises, und diese schnelle Wiedervereinigung wird, wie in a
len andern Fällen, wo sich groſse Quantitäten E. schnell au
gleichen, mit Lichtentwickelung verbunden seyn. Diese E
klärung setzt indessen voraus, daſs jene Eismassen von einan
der selbst in irgend einer Eigenschaft merklich abweichen. Das
Licht, welches entsteht, wenn Stücke von Zucker, Blende, Quar
Chalcedon u. d. g. gestoſsen oder an einander gerieben werde
rechnet Becquerel gleichfalls zu den el. Pressionsphänomene
Doch ist diese Erscheinung schon complicirter, da wenigster
stets Reiben zugleich damit verbunden ist, und sich mindester
beim Quarz und Chalcedon ein ganz eigenthümlicher empyreu
matischer Geruch entwickelt. Aber wohl kann man fragen, o
nicht alle *Entzündungen* brennbarer Körper mit chlorsauren od
salpetersauren Salzen, die durch einen schnell vorübergehen
den heftigen Druck, durch einen starken Hammerschlag einge
leitet werden, von der dabei statt findenden Elektricitätserregun
abhängen, die gleichsam eben so wirkt, wie wenn man einen
el. Entladungsschlag durch diese Körper hindurch gehen lieſse

Soferne der Druck in einem bestimmten Verhältnisse ge

gen die Cohäsion steht, die gleichsam durch ihn verstärkt wird, so reiht sich an diese Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung gleichsam die entgegengesetzte an, wo auf eine eigenthümliche Weise die *Cohäsion aufgehoben wird.* Auch über diese Art der Elektricitätserregung verdanken wir neulich BECQUEREL einige interessante Versuche [1]. Macht man in einem Glimmerblättchen einen kleinen Spalt, befestigt die getrennten Blätter an einer Handhabe, und reifst die Blättchen von einander, so wird die Trennungslinie im Dunkeln leuchten, und jedes Blatt ist entgegengesetzt el. Dies geschieht auch mit andern krystallisirten Mineralien, die auf dieselbe Art behandelt werden können, z. B. Gyps, Kalkspath u. s. w., eben so mit einer auf dieselbe Art behandelten Spielkarte. Dafs dieses Phänomen eine Beziehung auf die Cohäsion habe, und in gewisser Hinsicht das Entgegengesetzte des Vorhergehenden sey, leuchtet ein. BECQUEREL bemerkt richtig, dafs, da dasselbe Phänomen auch für das dünnste noch trennbare Blättchen gleichmäfsig gelte, man den Schlufs machen könne, dafs auch bei der Trennung der kleinsten Theilchen von einander das gleiche Phänomen sich einstellen müsse. Er vermuthet mit Recht, dafs die Intensität des Phänomens, sich wie der Grad der Cohäsion, die aufzuheben ist, verhalten müsse. Die von ADAMS [2] bemerkte Erscheinung, dafs wenn man eine Siegellackstange zerbricht, das eine Ende + E., das andere Ende — E. zeigt, möchte auch hierher zu zählen seyn.

Die häufigste Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist endlich die durch *Reiben*, die zwar nie ohne Druck statt finden kann, aber doch in ihrer Wirkungsart vom Druck noch wohl unterschieden werden mufs, da das el. Verhalten zwischen zwei Körpern entgegengesetzt ausfällt, je nachdem sie durch Druck oder Reiben auf einander wirken, wie aus einem Versuche von LIBES erhellet. Er besteht nämlich darin, eine an einem isolirenden Handgriffe gehaltene Metallscheibe durch hinlänglich starken Druck auf einfachen oder mehrmals zusammengelegten Wachstaffent wirken zu lassen. Dadurch wird der Taffent + das Metall —. Der Effect ist um so gröfser, je stärker der Druck ist, aber er

1 a. a. O.

2 Versuch über die E. S. 3.

hört sogleich auf, sobald der Taffent jene Klebrigkeit verlo hat, die seine Oberfläche leicht zusammendrückbar macht. Fi man dagegen das Metall mit Reibung über den Wachstafl hin, so wird der Taffent —, das Metall +.

Es gilt übrigens für die Erregung der E. durch Reiben d jenige, was von der Erregung durch Druck gesagt worden unter einigen besondern Einschränkungen. So werden also v kommene Leiter an einander gerieben, keine Spur von E. z gen, wenn sie nicht isolirt sind, weil die erregte E. sich gleich wieder mit derjenigen des Erdbodens zu 0 ausgleicl kann; dagegen wird der wesentliche Unterschied statt find dafs da beim Reiben die Puncte, welche durch ihre Einw kung auf einander, die gegenseitigen Elektricitäten hervorbra ten, durch den Act des Reibens selbst von einander entfe werden, die Ausgleichung zwischen zwei isolirten Leitern ni so erfolgen wird, wie beim Aufhören des Druckes. Uebrig ist es eine irrige Ansicht, wenn einige Physiker, wie a GEHLER [1], den Grund, warum die E., die beim Reiben vollkommenen Leiter an einander zum Vorschein kommt, so schwach ist, darin suchen, dafs sich dieselbe augenblickl durch die ganze Substanz derselben vertheile, da bei Nichtl tern ein Theil den andern isolirt, und der erregten E. nicht laubt, sich zu verbreiten. Da jede frei auftretende E., wie w ter unten gezeigt werden wird, nicht in die Substanz der K per eindringt, sondern sich nur an der Oberfläche ausbreitet, kann, wenn zwei gleiche Flächen eines Leiters und Nichtl ters gerieben werden, und die ganze Ausdehnung des gerieb nen Körpers sich blofs auf die geriebenen Flächen ei schränkt, der Unterschied der el. Intensität von dieser Verschi denheit offenbar nicht abhängen, da ja die erzeugten Elektri täten dann auf gleichen Flächen ausgebreitet sind. Anders freilich der Fall, wenn die geriebenen Körper aufser der g riebenen Fläche noch eine anderweitige Ausdehnung haben, sich allerdings über der ganzen Fläche des Leiters die erzeug E. ausbreiten, und in dem Verhältnisse der vergröfserten Obe fläche an Intensität abnehmen wird, während bei dem Nich leiter die erregte E. an der geriebenen Oberfläche mit ung schwächter Intensität haftet.

---

1 in seinem physikalischen Wörterbuche.

Um stärkere Grade von E. zu erhalten, reibt man die Nichtleiter am besten durch Reibzeuge, die eigends dazu eingerichtet, durch Federn u. s. w. angedrückt werden [1]. Man erhält in solchen Fällen stets das Maximum von E. an den geriebenen Körpern, wenn das Reibzeug mit dem Erdboden in leitender Verbindung sich befindet.

An diese mechanischen Erregungsarten der E., in welchen eine deutliche Beziehung auf die Cohäsion zu erkennen ist, schließen sich am passendsten diejenigen an, welche von einer Änderung des Aggregatzustandes der Körper abhängen. Eine Art durch Veränderung des Aggregatzustandes der Körper E. zu erregen, ist das Schmelzen. So kann man die E. des Schwefels, Wachses, Siegellacks, der Chocolade hervorrufen. Schwefel in einem irdenen Gefäſse geschmolzen, auf einem Leiter abgekühlt, und dann aus diesem Gefäſse genommen, erscheint stark el. In einem gläsernen Gefäſse geschmolzen und abgekühlt, erhält er starke — E. und das Glas + E., besonders wenn die Abkühlung auf Leitern geschieht, oder das Glas mit Metall belegt gewesen ist. Geschmolzener Schwefel, in metallene Gefäſse aus Zinn oder Kupfer gegossen, zeigt abgekühlt keine E.; nimmt man ihn aber heraus, so hat er + E., das Metall — E.; die E. hört auf, sobald man ihn wieder in das Gefäſs setzt. Chocolade zerlassen und in zinnernen Pfannen abgekühlt, wird stark el., behält auch, wenn man sie herausnimmt, diese Eigenschaft eine Zeitlang. Sie wird von neuem el., wenn man sie wiederum zerläſst und auf Zinn abkühlt, und wenn sie nach einigen Wiederholungen diese Eigenschaft verliert, so kann man ihr dieselbe durch etwas Baumöl wieder geben. Die el. Ladung der Chocolade erreicht, besonders wenn man sie recht heiſs in die Blechkapsel bringt, und darin schnell erkalten läſst, oft einen so hohen Grad, daſs die herausgenommenen Tafeln im Dunkeln sichtbare weiſse knisternde Funken auf einige Entfernung geben. Auch scheint die bisweilen auf der Oberfläche der Chocolade nach dem Erkalten in den Blechkapseln beobachtete Zeichnung von besonderen, kleinen, geschlängelt-netzförmigen Figuren eine Folge der el. Entladung zu seyn [2]. Diese Beobachtungen, besonders den Schwefel be-

---

1 S. *Elektrisirmaschine.*

2 Vergl. Kastner's Archiv VI. 472., wo sich die hierher gehörige

treffend, sind zuerst von Wilke[1] bekannt gemacht worden, welcher die auf diese Weise erregte E. von der durch Reiben entstandenen durch die Bezeichnung einer E. spontanea unterscheidet. Indeſs hängt die in diesen Fällen erzeugte E. nicht vom Schmelzen an sich, oder von der Veränderung des Aggregatzustandes, als nächster oder unmittelbarer Ursache, sondern ohne Zweifel vom Reiben ab, das unter besonders günstigen Umständen in diesen Fällen eintreten kann. Die Holländischen Physiker van Marum und Paets van Troostwyk[2] haben durch Versuche gefunden, daſs geschmolzene Massen, wie Gummilack, Harz, Pech, so lange sie ruhig in den Gefäſsen stehen, nicht die mindeste Spur von E. zeigen, und daſs isolirte Metallplatten, die man in diesem Zustande auf sie hält, unter vorsichtiger Vermeidung aller Reibung, und dann wieder nach dem Erkalten davon trennt, so wenig als die geschmolzenen Massen selbst die mindeste Spur von E. zeigen. Erst das Ausschütten, oder vielmehr das Auseinanderflieſsen des Geschmolzenen bringt die E. hervor, die also in diesem Falle nicht ohne Reibung auftritt. Dies findet noch weit mehr in den oben angeführten Versuchen statt, denn ein geschmolzener Körper kann nicht ohne Reiben erhärten oder vom Gefäſse getrennt werden, auch geschieht hier das Reiben unter sehr vortheilhaften Umständen, nämlich bei genauer Berührung und höchster Trockenheit. Endlich sind die Elektricitäten an die beiden Körper gerade so ausgetheilt, wie sie auch beim wirklichen Reiben derselben an einander zu Vorschein kommen.

Dagegen scheint diese Zurückführung der Elektricitätserregung auf dabei statt findendes Reiben als Quelle derselben keine Anwendung auf die Erklärung der el. Erscheinungen, welche

---

Literatur findet. Für die in der dortigen Anmerkung aufgestellte Behauptung des Herausgebers, daſs Schwefel in *silbernen* Gefäſsen geschmolzen während der Schmelzung und des Geflossenseyns *negativ* el., das Silber hingegen stark *positiv* sey, beim Erkalten aber die E. sich umkehren, hätte ich die Nachweisung einer glaubhaften Autorität gewünscht. Ich bezweifle aus mehr als einem Grunde, daſs der Schwefel, so lange er geflossen ist, merkliche E. zeigt, wenigstens haben mir die empfindlichsten Elektrometer keine Spur davon gezeigt.

1 S. Disputatio physica experimentalis de electricitatibus. Rostochii 1757.

2 J. d. P. 1788. Oct. p. 248.

s Wasser bei Veränderung seines Aggregatzustandes zeigt, nlassen, worüber vorzüglich Th. von Grotthuss[1] Verhe angestellt hat. Wasser, das in einem, wie eine Leidn Flasche von aufsen belegten, Glase in einer sehr niedrigen Temperatur (— 24° R.) schnell gefror, wurde positiv, in hoher Temperatur schnell geschmolzen, zeigte es negative E. Da Eis Glas gerieben — E. giebt, so konnte die E. nicht von einer t von Reibung des werdenden Eises am Glase hergeleitet erden, auch gab dieser Versuch in einem blechernen Gefäfse selbe Resultat. Ob hierbei nicht vielmehr ein starker Druck, n das zu Eis werdende Wasser nach allen Seiten, und so auch f das Glas ausübte, diese Elektricitätserregung verursachte? hen wir ja auch in einem oben angeführten Versuche bei zwei örpern durch Druck gerade die entgegengesetzte E. von dernigen durch Reiben erregt.

Dafs Wasser beim Verdampfen aus Gefäfsen diese negativ rückläfst, ist schon eine alte Erfahrung[2]. Grotthuss erhielt eses Resultat, die Verdampfung mochte in Gefäfsen von Ein, Kupfer oder chemisch reinem Silber geschehen. Wasser f an der Luft zerfallenes Glaubersalz oder gebrannten Alaun tröpfelt zeigte negative E., also beim Festwerden in diem Falle die entgegengesetzte von derjenigen beim Eiswern. Dafs nicht Verdampfung, welche sonst das Wasser negativ zurückläfst, die Ursache seyn konnte, bewies der Umand, dafs auch der gebrannte Kalk, noch ehe Erhitzung eint, diese E. entwickelte, wenn Wasser darauf getröpfelt urde.

Unter die Kategorie der von der Aenderung des Aggregatstandes abhängigen Elektricitätserregung gehören vielleicht ch die meisten Lichterscheinungen, welche so oft bei der rystallisation der Salze beobachtet worden sind. Das Licht eigt sich gewöhnlich in lebhaften Funken, die bald von diesem, ald von jenem Puncte der Krystalle ausgehen. Die Erscheinung dauert oft mehrere Stunden, so wie die Krystallisation fortschreitet, die Flüssigkeit, aus welcher sich die Krystalle bilden mehr und mehr verdunstet, aber sonderbar ist es, dafs dieselbe Masse von Krystallen, welche die auffallendste Lichterscheinung

---

1 Schweigg. J. IX. 221.

2 S. Condensator.

gaben, frisch wieder aufgelöst, und einer neuen Krystallisa ganz unter denselben Umständen unterworfen, diese Lich scheinung zum zweitenmale dann nicht wieder zeigen. Von schwefelsauern Kali, bei dessen Krystallisation diese auffalle Lichterscheinung am häufigsten beobachtet wurde, führen sc ältere Chemiker dies an, und Giobert sieht es als eine n wendige Bedingung zur Lichtentwickelung an, dafs die La vorher dem Lichte und der Luft ausgesetzt war; dasselbe merkte ich bei einer Auflösung von salpetersaurem Stront die vorher längere Zeit dem Lichte und der Luft ausgesetzt auffallendsten Lichtfunken beim Krystallisiren zeigte, nicht von neuem, als die Krystalle wieder aufgelöst und sogleich neuen Krystallisation gebracht wurden [1]. Eine gleiche Erf rung machte Berzelius bei der Krystallisation einer gesättig Auflösung von flufssaurem Natron [2], dasselbe bemerkte a Wöhler an einer Auflösung von schwefelsaurem Kali [3]. M könnte daher gegen die wirkliche el. Natur dieses Phänom noch einige Zweifel hegen, und dasselbe als ein phosphorisc im engern Sinne betrachten, wenn nicht andere Erwägung die aus der elektrochemischen Theorie herzunehmen sind, die el. Natur desselben sprächen [4]. Ohne Zweifel gehört a hierher das glänzende Lichtphänomen, welches Buchner der Sublimation der Benzoësäure beobachtete, wo die fei Krystalle, die sich aus dem Dampfe ausschieden, wie die gl zendsten Lichtfunken erschienen. Krystallisirte Salze zeig auch unmittelbar nach ihrer Krystallisation ihre E. am Elekt meter. Doch fand Grotthuss in Absicht auf die Beschaff heit der E. nichts Constantes, da Alaun, Salmiak und Salpe bald positiv, bald negativ erschienen.

Wenn jede Veränderung des Aggregatzustandes wesentl von einem veränderten Verhältnisse gegen die Wärme abhän so folgt hieraus eine nahe Verwandtschaft der Elektricitätser gung durch eine solche Veränderung mit derjenigen durch a

1 Schweigg. J. XIV. 275.

2 Jahresberichte von Berz. IV. Jahresbericht S. 45.

3 Ebendas.

4 Vergl. vorzüglich einen interessanten Aufsatz: von dem H ausgeber: Ueber Lichterscheinung bei der Krystallisation in Schwei Journ. N. R. XI. 221. auch IX. 231 und X. 271.

fallenden Wechsel der Temperatur, ohne dafs dadurch der Aggregatzustand selbst verändert würde. Ich meine hier das Hervorrufen einer el. Polarität an vielen krystallisirten Mineralien, welches in so vielen Fällen sich zeigt, dafs mehrere Physiker diese Classe von Erscheinungen mit einem eigenen Namen der *Pyro*- oder *Thermo-Elektricität* zu bezeichnen angefangen haben[1].

Von Elektricitätserregung durch blofse *Lichtbestrahlung* fehlt es an einer Erfahrung, und immer würde eine solche es zweifelhaft lassen, ob nicht vielmehr die Wärme das thätige Princip dabei gewesen sey.

Wenn man erwägt, dafs die neuere Theorie der Chemie alle Wirkungen der Verwandtschaft auf das Spiel el. Kräfte zurückzuführen bemüht ist, so sollte man glauben, dafs die chemischen Processe durch die Elektricitätserregung vorzüglich vermittelt werden. Dieser Ansicht huldigen viele Physiker, und wir werden unter dem Artikel *Galvanimus* Gelegenheit haben, dieselbe näher zu prüfen. Hier möge nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs keine einzige sichere Thatsache vorhanden ist, durch welche der Beweis geführt werden könnte, dafs durch den chemischen Procefs als solchen das el. Gleichgewicht gestört, und die vorher ruhenden Elektricitäten entweder in eine freie Spannung versetzt oder zum el. (galvanischen) Kreislauf in einer geschlossenen Kette aufgeregt würden. Der französische Physiker Becquerel glaubte zwar, durch sehr unzweideutige Versuche diese Elektricitätserregung als Folge chemischer Wechselwirkung bewiesen zu haben. Er bediente sich dazu eines elektromagnetischen Multiplicators, der so zugerichtet war, dafs das eine Ende des mehrmals umschlungenen Metalldrahts in eine angelöthete, etwas geräumige, Vertiefung, oder einer Art Schälchen von Platin, das andere in eine Zange von demselben Metalle ausging. Gofs nun Becquerel eine Säure in die Vertiefung, und wurde ein Stück kaustisches Alkali oder irgend eine andere basische Substanz mit der Zange gefafst und in die Säure gebracht, so zeigte die Abweichung der Magnetnadel, welche sich im Wirkungskreise des Multiplicators befand, die Entstehung eines el. Stromes an. Von der Säure ging *positive*, von dem Alkali *negative* E. aus, und der el. Strom

1 S. *Krystallelektricität*.

war um so kräftiger, je gröfser die Verwandtschaft zwischen de Körpern war, die sich verbanden. Um die Verbindung lang samer zu bewerkstelligen kann der eine der hierzu anzuwenden den Körper in eine nasse Blase eingeschlossen werden. Metall oxyde wirkten gegen Alkalien wie Säuren; dasselbe thaten Er den und Metallsalze. Durch doppelte Zersetzungen, wo di Basen und Säuren gesättigt blieben, erhielt Becquerel kei Zeichen von el. Strömung, ausgenommen wenn Eisenvitrio durch blausaures Eisenkali gefällt wurde, wobei ersterer nach Art einer Säure wirkte[1]. Selbst bei Auflösung von trockene Säuren in Wasser, ja beim Zusammenkommen von concentrirte flüssigen, wie der Salpetersäure oder Schwefelsäure mit Wasser, zeigte sich jene el. Wirkung. Nur wurde bei Anwendung der flüssigen Säuren, weil sie nicht unmittelbar von der Platinzange gehalten werden konnten, Platinschwamm damit getränkt, der von der Platinzange gefafst nunmehr in das destillirte Wasser des Platinlöffelchens getaucht wurde. Die Richtung des el. Stromes war hierbei eben dieselbe, als wenn das Wasser eine Base wäre, und umgekehrt, wenn kaustisches Alkali in Wasser aufgelöst wurde, so gab der el. Strom zu erkennen, dafs das Wasser wie eine Säure wirkte. Nur die Salzsäure machte eine Ausnahme, indem sie sich gegen das Wasser el. positiv verhielt, worin sich diese Säure andern durch Wasser verdünnten Säuren gleich verhielt, die, wie ich schon früher von der Schwefelsäure gezeigt habe[2], ihren el. Werth durch die Verdünnung mit Wasser umkehren, was auch mit Seebeck's Versuchen über die thermomagnetische Reihe der Körper übereinstimmt. Bei der Auflösung von Salzen in Wasser fand Becquerel wenig oder keine el. Wirkung, nur bei der Auflösung von schwefelsausem Natron und salzsaurem Baryt wurde eine geringe Spur davon bemerkt, wobei sich das Wasser gleich einer Säure verhielt. Becquerel untersuchte ferner die el. Phänomene, welche bei der Vereinigung zweier Säuren entstehen, er erhielt aber nur veränderliche und anomale Wirkungen.

Da die Capillarität auf der Anziehung der kleinsten Theilchen einer Flüssigkeit gegen die Materie des Haarröhrchens beruht, die gleichsam die erste Stufe der Anziehung ist, so

1 Schweigg. J. N. R. IX. 385.

2 Gehlen's Journ. d. Ch. und Ph. V. 82.

dienen die Versuche über die Elektricitätserregung durch Capillarität durch ihre Resultate, jene über die Elektricitätserregung durch eigentliche chemische Action noch weiter zu bestätigen. Um diese Wirkung darzustellen, bediente BECQUEREL sich eben eines aus dem Platinsalmiak bereiteten Platinschwammes, wie in den oben angeführten Versuchen, faſste die poröse Masse an dem einen Ende mit der Zange des Multiplicators und tauchte sie in die im Platinlöffel am andern Ende des Multiplicators enthaltene Salpetersäure. Dabei entstand, so lange der Platinschwamm die Säure einsog, ein el. Strom in entgegengesetzter Richtung, als es hätte der Fall seyn sollen, wenn die Säure das Metall angegriffen hätte, und sobald die Poren mit Säure gefüllt waren, hörte alle Wirkung auf. Wasser statt der Säure, hat keine Wirkung, weil, wie BECQUEREL meint, es ein zu schlechter Leiter der E. ist, aber auch concentrirte Salpetersäure, wenn gleich ein besserer Leiter als verdünnte, brachte eine schwächere Wirkung wie diese hervor[1].

Alle diese Versuche beweisen aber meines Dafürhaltens durchaus nicht, was BECQUEREL dadurch bewiesen zu haben glaubt, da sich alles sehr gut aus den Gesetzen der Contact-E. erklären läſst, und kein Grund vorhanden ist die chemische Action als solche als die Quelle der el. Strömung anzusehen. In allen obigen Versuchen wirkte nämlich eine einfache galvanische Kette aus zwei Leitern der zweiten Classe (feuchten Leitern) und einem Leiter der ersten Classe, dem Platin, das an beiden Enden des Multiplicators angebracht war, und wovon das eine, den einen, das andere den andern feuchten Leiter berührte, und die Stärke und Richtung des el. Stromes war dann jedesmal das Resultat der combinirten Zusammen- und Entgegenwirkung der Störung des el. Gleichgewichts in den drei Berührungspuncten, zwischen dem Platin (der Zange oder dem Schwamme) und dem einen feuchten Leiter, dem Platin (dem Löffelchen) und dem andern feuchten Leiter und den beiden feuchten Leitern unter einander selbst. Diese Kettenwirkung muſste so lange fortdauern, als noch in irgend einem Theile des Raumes die wechselseitige chemische Verbindung zwischen den beiden feuchten Leitern nicht erfolgt war, d. h. so lange noch die feuchten Leiter in ihrer Heterogeneität in einer endlichen

---

1 Schweigg. Journ. N. R. X. 408.

Menge neben einander existirten, folglich in Berührung einander waren und schon vermöge dieser allein das el. Gl gewicht stören mufsten. Dasselbe hat auch Berzelius ben wenn er[1] nach summarischer Anführung obiger Versuche hi fügt. Er müsse bemerken, dafs diese Versuche von ganz cher Natur mit denen seyen, die mittelst Säulen von ei Metall und zwei Flüssigkeiten gemacht werden, zu deren weiskraft sie nichts zulegen können[2].

Was die Elektricitätserregung durch *Capillarität* bet so scheint auch hier alles sich auf die Wirkung einer galvanis Kette aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit zurückführe lassen, indem es aus andern galvanischen Versuchen bek ist, dafs die Verschiedenheit eines und desselben Metall Politur, Glanz, Wärme u. s. w. schon hinreicht, zwei so Stücken oder Enden gleichsam zu Aequivalenten von zwei h rogenen Metallen zu machen, und die Verschiedenheit zwisc einem polirten Stücke Platin und dem Platin in Form Schwammes die gröfstmöglichste ist, die in dieser Hinsicht finden kann.

IV. Mittheilung der E. Austheilung de selben an die Leiter. Gesetze für d Capacität isolirter Leiter. Coulom Untersuchungen. Wirkungen der mi getheilten E. auf Thiere, Pflanzen, ve dunstende Materien und Gasarten.

Ein elektrisirter Körper theilt seine E. andern ihn berü renden mit, und verliert dadurch soviel, als er mitgetheilt h Ist er ein Leiter, so vertheilt sich dieser Verlust über den ga zen Körper, und alle seine Theile zeigen die el. Erscheinung schwächer; ist er aber ein Nichtleiter, so trifft der Verlust n die berührte Stelle, weil die nicht leitende Eigenschaft dem St ben nach Ausgleichung Widerstand leistet. So benimmt m einer geriebenen Glasröhre durch Berühren mit dem Finger il E. nur an dieser Stelle, um sie ganz zu entziehen, mufs m sie mehrmals und an vielen Stellen berühren. Einem Meta

1 IV. Jahresbericht S. 25.

2 Vergl. *Galvanismus*.

he aber entzieht die Berührung eines mit der Erde verbun-enen Leiters alle seine E. auf einmal.

Wieviel ein Körper durch die Berührung anderer verliert, as kommt darauf an, ob die andern wenig oder viel annehmen. Hier kommt also die Lehre von der Capacität der Körper für E., ie bereits in dem Artikel *Condensator* berührt worden ist, aus einem neuen Gesichtspuncte in Betrachtung, und gerade rüber haben wir die allergenauesten, in mathematischen For-eln darstellbaren Bestimmungen vorzüglich den scharfsinnigen hroelektrometrischen Untersuchungen des berühmten franzö-ischen Physikers Coulomb zu verdanken. Der Fundamentalsatz r alle diese Bestimmungen ist, daſs die freie, mit Spannung gabte d. h. durch repulsive Kraft nach allen Seiten wirk-me E., sie sey nun positive oder negative, sich lediglich nur f der Oberfläche der Körper verbreite und anhäufe, und nicht das Innere der Substanz derselben eindringe, daſs also die asse der Körper als Masse, und wenn von der verschiedenen chnelligkeit der Verbreitung abgesehen wird, auch die Quali-t derselben hierbei gar nicht in Betrachtung komme, sondern als sich alles nur auf die Oberfläche der Körper, jedoch nicht loſs der *Quantität*, sondern auch der *Qualität* ihrer Ausdeh-ung, d. h. ihrer Gröſse sowohl als Gestalt nach beziehe, nd dadurch bestimmt werde. Zum strengen Erweise dieses auptgesetzes durch Versuche, und zur empirischen Bestäti-ung der theoretischen Gründe, die auf dasselbe Resultat füh-en, war es vor allen Dingen nöthig, ein genaues Maſs für die . ausfindig zu machen, das noch die kleinsten Grade von E. in estimmten Zahlwerthen anzugeben geeignet war. Wir verdanken in solches dem Scharfsinne Coulomb's in der el. Waage[1], wo ie Drehkraft eines feinen Silberfadens, oder der Widerstand, elchen derselbe der Drehung leistet, zum Maſse für die el. epulsivkraft dient, nachdem durch anderweitige Versuche die-es Maſs selbst durch genaue Bestimmung aller Momente, welche uf die Gröſse dieses Widerstandes ihren Einfluſs äuſsern, erst gewonnen ward[2].

Wenn die freie E. auf einer gegebenen Oberfläche, z. B. einer Kugel, an jedem Puncte derselben durch jenes Maſs ge-

1 S. *Waage, elektrische.* Vergl. *Drehwaage.*

2 Vergl. *Elasticität gegen Drehung.*

prüft die gleiche Repulsivkraft zeigt, so folgt daraus, dafs E. auf dieser Oberfläche ganz gleichförmig vertheilt ist. nun COULOMB's Drehwaage durch die Drehkraft als Mafs der pulsivkraft unmittelbar die wirkliche Menge der freien E jedem Elemente der Oberfläche messe, beweiset ohne Wi rede der Versuch mit zwei Leitern von ganz gleicher Besc fenheit in Rücksicht auf Gröfse und Gestalt, z. B. zwei Cy dern, oder zwei Parallelepipedis, von denen einem zuers mitgetheilt, die Stärke derselben durch die Drehwaage bestin und dann der andere Leiter ganz symmetrisch an den andern parallele Lage und in leitende Verbindung mit ihm gebr wird, wo, wegen des ganz gleichen Verhältnisses be Leiter in Beziehung auf einander, die E. sich unter b nothwendig zu gleichen Hälften vertheilt, die Drehwaage d aber auch die Hälfte der Repulsivkraft an jedem Leiter anze Es folgt hieraus eben so nothwendig, dafs wenn die freie nur an der Oberfläche haftet, eine Kugel von doppelter Ob fläche, bei gleicher Repulsivkraft an jedem Puncte, das d pelte Quantum von E., und so überhaupt Kugeln bei gleic Spannung der E. Quantitäten im Verhältnisse ihrer Oberflä besitzen werden, da für jedes gegebene Element die Menge E. bei gleicher Repulsivkraft dieselbe seyn mufs, wie der ob Versuch beweiset. Die gleichförmige Verbreitung der E. Kugeln, die von allen Seiten gleichmäfsig mit Luft oder irge einem andern ganz homogenen Nichtleiter umgeben sind, fo schon aus dem Wesen einer Kugel, weil jeder Punct ih Oberfläche in Beziehung auf alle übrigen Puncte ganz diesel Lage hat, wie jeder andere, und also jeder ganz denselben Ei flüssen der Repulsion von allen übrigen Puncten her unterworf ist. Dafs nun die freie, mit Spannung begabte, und in dies Spannung relativ ruhende E. wirklich nur an der Oberfläc hafte und nicht in dem Innern der Körper mit verbreitet se folgt schon mit Nothwendigkeit aus dem Begriffe einer nach a len Seiten thätigen Repulsivkraft, ihre Intensität mag nun na den einfachen oder quadratischen Verhältnissen der Entfernu abnehmen, wenn zwischen den Theilchen, die durch die Repulsivkraft sollicitirt werden, und den materiellen Theilch des Körpers, an welchen die E. auftritt, keine weitere Beziehun weder von Anziehung noch von Repulsion statt findet. Direc Versuche mancherlei Art beweisen aber auch den Satz unmi

elbar. Man nehme z. B. einen leitenden Körper von sphäroidischer Form wie S, man verfertige sich zwei sehr dünne Kappen E E gleichfalls von einer leitenden Substanz, wie von Goldpapier, und gebe ihnen eine solche Krümmung, dafs, wenn sie an einander stofsen, sie den Körper S genau einschliefsen und umhüllen; man befestige an diese Kappen nach Aufsen zwei passende Handhaben von Schellack M, M, so dafs man sie gut anfassen kann, ohne ihnen ihre E. zu entziehen. Man isolire den Körper S durch einen gläsernen Fufs oder hänge ihn an einem wohl mit Schellack überzogenen seidenen Faden auf, und theile ihm irgend einen Grad von E. z. B. durch Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine mit. Nunmehr applicire man mit Hülfe der isolirenden Handhaben jene oben beschriebenen Kappen gehörig an den Körper S, um ihn ganz zu umhüllen; ziehe sie sogleich wieder mit derselben Vorsicht davon ab, und prüfe sie durch ein Elektrometer. Man wird finden, dafs sie dem sphäroidischen Körper alle seine E. geraubt haben, der auf dieselbe Weise untersucht keine Spur davon zeigen wird. Man erhält dasselbe Resultat durch eine andere Art von Versuchen, die den Satz auf eine allgemeinere Art beweisen. Man bohre in einen Leiter von beliebiger Gestalt ein oder mehrere cylindrische Löcher von beliebiger Tiefe und von 4—5 Linien Durchmesser, verfertige sich einen Faden von Schellack, von einigen Zollen Länge, und befestige an das Ende desselben eine Scheibe von Goldpapier, oder ein Kügelchen von Hollundermark, von einem Durchmesser, der etwa ½ bis ¼ der Weite jener Löcher beträgt. Dann isolire man den mit jenen Löchern versehenen Leiter, elektrisire ihn hinlänglich stark durch einen Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine, und führe mit aller Vorsicht, indem man den Faden von Schellack an seinem freien Ende hält, das eine Ende mit der Goldscheibe oder dem Hollundermarkkügelchen in eines jener Löcher, wobei man sich aber wohl in Acht zu nehmen hat, dafs die Ränder der oberen Oeffnung desselben nicht berührt werden. Auch wenn der Boden des Loches oder die innern Wandungen berührt worden sind, wird doch die Goldscheibe oder das Hollundermarkkügelchen keine Spur von E. zeigen, wie die Prüfung an einem hinlänglich empfindlichen Elektroskope beweiset. Hieraus ergiebt sich unwidersprechlich, dafs die freie, aber nicht in wirklicher Strömung begriffene, sondern nur

Fig. 29.

mit einem gegebenen Grade von Spannung nach Aufsen strebende E. blofs an der Oberfläche der Körper haftet. Denkt man sich nun die Ursache der el. Erscheinungen als ein sehr feines ätherisches Fluidum, eine Vorstellungsart, mit welcher alle Phänomene am besten zusammenstimmen, so mufs man sich dasselbe an den Leitern unter der Gestalt einer höchst dünnen Schicht vorstellen, deren äufsere Oberfläche mit der Luft in Berührung ist, wo sie durch den Druck und die isolirende Eigenschaft derselben zurückgehalten wird, und ganz mit der Oberfläche des Leiters selbst zusammentrifft, deren Dicke aber, wie dünn sie übrigens an sich seyn mag, sich nach der Menge der Theilchen, welche an jedem Elemente der Oberfläche des Leiters angehäuft sind, richten mufs. Dafs die Qualität der Körper bei der Vertheilung der freien E. über ihre Oberfläche nicht den geringsten Einflufs auf die Menge derselben hat, und nur insofern in Betrachtung kommen kann, als die in verschiedenen Graden isolirende Eigenschaft der Körper der Verbreitung der E. auf der Oberfläche mehr oder weniger Widerstand leistet, hat Coulomb durch einen entscheidenden Versuch bewiesen. Er theilte der kupfernen Kugel seiner Drehwaage einen bestimmten Grad von E. mit, welcher durch die Drehungswinkel der zurückgestofsenen Scheibe ven Goldpapier gemessen werden konnte, berührte die kupferne Kugel schnell mit einer andern von Hollundermark von gleichem Durchmesser, und entfernte diese sogleich, dann zeigte sich die Repulsivkraft, welche die kupferne Kugel ausübte, nur noch als die Hälfte der vorhergehenden, woraus folgt, dafs da die Repulsivkraft bei derselben Oberfläche im Verhältnisse der Quantität des el. Fluidums steht, die kupferne Kugel gerade die Hälfte desselben an die Kugel von Hollundermark abgegeben haben mufste, und folglich die verschiedene Qualität beider Körper nicht den geringsten Einflufs auf die Vertheilung geäufsert hatte. Auch andere Versuche gaben durchaus dasselbe Resultat, wenigstens für alle diejenigen Körper, welche in ihrem Leitungsvermögen wenig von einander abweichen, und also namentlich für die Metalle. Um so auffallender mufs ein Versuch Parrot's in Dorpat erscheinen, der bei ganz gleicher Oberfläche und Gestalt eine sehr verschiedene Capacität verschiedener Leiter, nach Verschiedenheit ihrer besondern Qualität beweisen würde. Man

nehme, sagt PARROT[1] zwei Metallplatten, jede mit einem isolirenden Handgriffe, beide gleich grofs und gleich geschliffen, aber die eine von Kupfer, die andere von Zink, und stelle jede auf ein besonderes isolirendes Gestell. Dann lege man an sie einen gemeinschaftlichen Leiter in Gestalt eines >, der mit seiner Spitze auf einem dritten Isolator ruhe, und berühre diese Spitze mit dem Knopfe einer sehr schwach geladenen Kleist'schen Flasche, fasse jede der Platten am isolirenden Handgriffe, und berühre damit ein Goldblattelektrometer; so wird dieses jederzeit mehr Divergenz zeigen durch die kupferne Platte als durch die von Zink, und in einer Anmerkung fügt der Verfasser hinzu, dafs sich aus 34 Versuchen als Mittelzahlen die Divergenzen am Elektrometer 59° für das Kupfer, und 14° für das Zink ergeben, woraus er die, wie er bemerkt, wichtige Folgerung zieht, dafs wenn man die Leidner Flaschen mit Kupfer belegte, sie eine weit gröfsere Menge von E. aufnehmen würden, da Zinn und Zink in obiger Hinsicht nicht weit aus einander stehen. Wiederholte PARROT den Versuch so, dafs man jede Platte unmittelbar an die Flasche und dann an das Elektrometer brachte, so war die Mittelzahl der Divergenz 20°,8 für das Kupfer, 9°,6 für das Zink. Es ist schwer abzusehen, worin die Ursache dieser sonderbaren Anomalie von allen el. Gesetzen gelegen haben mag. Bei Wiederholung dieser Versuche bei gleich grofsen und gleich dicken, wohl polirten, kreisförmigen Zink- und Kupfer-Platten von verschiedenem Durchmesser habe ich durchaus keine solche verschiedene Spannung durchs Goldblattelektrometer bemerken können, und es ist selbst, wenn man den verschiedenen Metallen eine verschiedene Capacität für die E. in dem Sinne der verschiedenen Capacität der Körper für Wärme zuschreiben wollte, doch jenes oben erwähnte, von PARROT erhaltene Resultat unbegreiflich, da nach jener Analogie zwar unstreitig verschiedene Quantitäten von E. erforderlich seyn würden, um in verschiedenen Metallen, von übrigens gleicher Form und Gröfse dieselbe el. Spannung, die durch das Elektrometer gemessen wird, hervorzubringen, diese Spannung selbst aber, nach dem Gesetze des Gleichgewichts in ihnen, da sie aus demselben Quell schöpfen, und sich mit diesem ins Gleichgewicht setzen, dieselbe seyn müfste, gerade so, wie verschie-

1 Grundrifs der theoretischen Physik II. 517. §. 1266.

dene Körper, ohngeachtet ihrer verschiedenen Capacität Wärme die gleiche Temperatur mit dem Medium anneh das für sie die Quelle der Erwärmung ist.

Wenn nun nach Uebereinstimmung aller Versuche (bis obige Ausnahme) die verschiedene Qualität der Körper ke Einfluſs auf die Capacität derselben für E. äuſsert, so übt verschiedene Gestalt einen um so gröſseren aus, wovon Grund in der verschiedenen Wechselwirkung der auf der Ol fläche verbreiteten E. auf sich selbst durch die Repulsivk ihrer Theilchen, die von dieser Gestalt wesentlich mit abhä liegt. Schon Volta[1] hat eine Reihe interessanter Versu hierüber angestellt. Er fand im Allgemeinen, daſs die Lä eines Leiters seine Capacität für E. in einem viel höheren Gr vermehrt, als die Zunahme seines Durchmessers. Von c Cylindern, wovon der eine einen Fuſs Länge 4″ Durchmes der zweite zwei Fuſs Länge und 2″, und der dritte acht F Länge und ½″ Durchmesser, und demnach sämmtlich ein Quadratfuſs Oberfläche hatten, wobei die halbkugelförmig Flächen der Enden nicht in Anschlag gebracht sind, so d also die Oberfläche des dicksten Cylinders noch etwas gröſs war, hatte Letzterer bei weitem die gröſste Capacität. Dies e gab sich daraus, daſs wenn alle drei so lange geladen wurde bis sie von selbst Funken ausströmten, der dritte die erschü terndsten Funken gab, daſs ferner, um den dritten zu gleich Spannung, wie die beiden andern zu laden, mehr Umdrehu gen der Elektrisirmaschine nöthig waren, auch eine an ihn si entladende Leidner Flasche vergleichungsweise mit den beid andern, den längsten Funken gab. Man würde demnach m einer weiter gehenden Verlängerung bei gleichbleibender Obe fläche die Capacität fortschreitend vermehren können, we nicht eine gewisse Dünne wieder Grenzen setzte, bei welch die E. sich zu leicht zerstreuet, besonders wenn der metallisch Draht, den man als Leiter gebraucht, ungleiche Stellen ha Eine Dicke von 6 Linien ist indessen noch sehr brauchbar. Noc genauere Versuche hat indessen Coulomb durch Hülfe sein el. Waage hierüber angestellt, die auf dasselbe Resultat führe Es werden nämlich bei der Mittheilung der E. von einem Leit

1 Dessen Schriften über E. und Galvanismus übers. von Dr C. F. Nasse I. Band 1803. S. 1. ff.

an einen andern isolirten Leiter die Quantitäten von E., die der eine zurückbehält und der andere empfängt, durch die Bedingungen des Gleichgewichts bestimmt, welches im Augenblicke der Berührung zwischen den Repulsivkräften der el. Flüssigkeiten, die sich zwischen den beiden Oberflächen vertheilt haben, eintreten muſs. Vertheilt sich z. B. die Flüssigkeit unter Kugeln von ungleicher Oberfläche, so weichen die Quantitäten in einem geringeren Verhältnisse von einander ab, als die Oberflächen, oder die kleinere Kugel bekommt immer mehr, als nach Verhältniſs ihrer Oberfläche. Das Gleichgewicht erfordert nämlich, daſs das Verhältniſs zwischen der Quantität der kleineren und der gröſseren dasjenige, welches zwischen den Oberflächen statt findet, hinlänglich übersteige, damit sein Uebergewicht dasjenige ersetze, was die kleinere Kugel im Verhältniſs ihrer weniger ausgedehnten Oberfläche verliert. Betrug die Oberfläche der kleinern Kugel ungefähr $\frac{1}{15}$ der gröſseren, so war ihre Quantität ungefähr $\frac{1}{11}$ von dem Fluidum der Andern. Da die el. Dichtigkeiten an jedem Puncte bei Kugeln, auf welchen die E. wegen gleichförmiger Lage aller Puncte gegen einander gleichförmig vertheilt ist, die Quotienten der Quantitäten des el. Fluidums dividirt durch die Oberflächen sind, so war es Coulomb leicht, durch directe Versuche das Gesetz zu finden, nach welchem die el. Dichtigkeiten der Körper, unter welche sich die E. vertheilt hatte, variiren. Coulomb fand so, daſs für zwei Kugeln, wovon die eine dieselbe bleibt, während man die andere immer kleiner und kleiner nimmt, das Verhältniſs der el. Dichtigkeiten nach einer immer langsameren Progression wächst, welche das Verhältniſs von 2 : 1 zur Grenze hat, so daſs im Falle dieser Grenze die zweite Kugel unendlich klein angenommen werden muſs, und nur an dieser Grenze die kleinere Kugel noch einmal soviel E. aufnimmt, als sie nach dem Verhältnisse ihrer Oberfläche aufnehmen sollte.

Bei isolirten cylindrischen Leitern, welche mit Kugeln in Berührung kommen, gilt im Allgemeinen das Gesetz, daſs bei gleicher Oberfläche der cylindrische Leiter verhältniſsmäſsig um so mehr aufnimmt, je länger er ist, daſs aber auch der Ort, an welchem die beiden Leiter sich bei der Mittheilung berühren, seinen Einfluſs äuſsert, indem der cylindrische Leiter am meisten aufnehmen wird, wenn die Mittheilung an einem seiner Endpuncte geschieht, und in dem Verhältnisse weniger, in

welchem die Berührung der Mitte des Cylinders r rückt.

Die stärkeren Grade der E. verbreiten sich an den g Leitern von beträchtlicher Länge mit einer bewunderungsw digen Geschwindigkeit. Man hat über diese Geschwindi vorzüglich durch Hülfe der Entladung von Leidner Flas und Batterien Versuche angestellt, und für die bisher unters ten Entfernungen, wovon die gröſste 12276 Schuhe war, Fortleitung der E. instantan gefunden. Indessen entsche diese Versuche nach der Art, wie sie angestellt wurden, r sicher über diese Geschwindigkeit, da Volta gezeigt hat, bei solchen Entladungen von Flaschen und Batterien durch gı Strecken von Leitern jede Belegung sich ihrerseits entlade, sich die Elektricitäten der beiden Belegungen nicht unmitte mit einander ausgleichen, folglich auch, es mag nun hier Bewegung einer Flüssigkeit oder die bloſse Fortpflanzung e Bewegung angenommen werden, diese Flüssigkeit oder Be gung nicht den Weg von der einen Belegung zur andern zur zulegen hat, und folglich auch über die Geschwindigkeit d selben nichts daraus hervorgeht. Um über die Geschwindig der Fortpflanzung der el. Leiter ein sicheres Resultat zu erl ten, müſste man groſse Batterien oder Volta'sche Säulen groſser Spannung und vorzüglicher Leitung im Innern mit d einen Ende eines wohl isolirten, mehrere tausend Fuſs lan Drahtes in Berührung bringen, wobei man bei der schnel Fortleitung des mit der Mittheilung der E. zugleich hervorb chenden Schalls durch den Draht, die nach Biot's Versucl für eine Strecke von 12000 Par. Fuſs nur 1,125 Sec. betr sich vielleicht kein Unterschied in der Zeit ergeben würde, welcher an dem andern Ende des Drahtes dieser Schall geh wird, und das damit in Berührung stehende Elektrometer du die Divergenz seiner Strohhalme die bis dahin vorgedrunge Leitung der E. anzeigt, sofern, wie Ritter[1] sinnreich beme das was im Innern schwingender Körper während ihrer Schw gung vorgeht, eine Reihe oscillatorisch abwechselnder ent gengesetzter el. Processe ist, und folglich die Fähigkeit z Fortleitung jener Schwingungen und damit des Schalles od Tones selbst unmittelbar an die Fähigkeit zur Fortleitung d

1 Schweigg. J. II. S. 231.

an el. Processe gebunden zu seyn scheint, in welchen aber selbst nichts als die zu ihnen gehörige E. fortgeleitet wird. Daſs jedoch die Schnelligkeit der Fortleitung von der Stärke der E. mit abhänge, und daſs schwächere Grade von E. einige Zeit gebrauchen, wenn sie lange, vollends nicht ganz vollkommene Leiter durchdringen sollen, scheint wohl keinem Zweifel unterworfen, womit dann freilich, so weit bis jetzt unsere Versuche reichen, eine Verschiedenheit zwischen der Art der Fortleitung des Schalles und der E. auch durch die vollkommenen metallischen Leiter sich ergiebt.

Es folgt aus den bisher vorgetragenen Sätzen in Betreff der Mittheilung der E. sehr natürlich, daſs man, um die E. eines Körpers eine zeitlang zu erhalten, ihn isoliren oder mit lauter Nichtleitern umgeben müsse, die wenig oder nichts von seiner E. annehmen. Daſs die Luft ein solcher ist, kommt uns sehr zu statten. Wäre sie ein Leiter, so würde man fast gar keine el. Versuche anstellen können, jeder Körper würde seine E. ihr augenblicklich mittheilen und diese sich in der Atmosphäre zerstreuen. So aber ist ein Körper in der Luft isolirt, wenn er an seidenen Schnüren hängt, auf Glas oder Pech ruht u. s. w. Indeſs ist auch diese Isolation keine vollständige, sondern der elektrisirte Körper verliert sowohl durch Mittheilung an die umgebende Luft, als an die nicht absolut, sondern nur relativ isolirenden Träger, die ihn stützen, oder an denen er hängt, allmälig, wenn gleich in abnehmender Progression, seine E. gänzlich.

Da die Bestimmung der durch die umgebende Luft und die Träger statt findenden Zerstreuung der E. für den Gebrauch der el. Waage zur Beurtheilung und Festsetzung der Gesetze der E. und besonders ihrer Abnahme bei der Mittheilung an andere Körper und der Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit von der Entfernung von der gröſsten Wichtigkeit seyn muſste, so hat auch hierüber Coulomb eine Reihe von Versuchen angestellt [1]. Die *Luft* scheint schon an und für sich zur Zerstreuung der E. beizutragen, indem die an den elektrisirten Körper unmittelbar angrenzenden Lufttheilchen ohngeachtet ihres so unvollkommenen Leitungsvermögens doch allmälig das el. Fluidum aufnehmen, wenn sie mit demselben getränkt sind, von dem elektri-

[1] Biot Traité II. 244.

sirten Körper zurückgestoſsen werden, und neuen Theilchen Pla machen, ohngefähr auf dieselbe Weise wie die Flüssigkeit die Wärme leiten. Noch mehr als die eigentlichen Lufttheilch scheinen die Theilchen des *Wasserdunstes*, der sich stets in d Atmosphäre befindet, zur Zerstreuung der E. beizutragen, we wegen denn bei sehr feuchter Beschaffenheit der Luft alle Versuche so schlecht gelingen. Auch ziehen die Isolatore welche die elektrisirten Körper tragen, aus dieser feuchten Lu leichter Wasser an, und überziehen sich vermöge der Adhäsic mit einer Wasserhaut, welche, wenn sie stärker adhärirt, a sie, nachdem sie da, wo sie an den elektrisirten Körper an grenzt, von diesem E. aufgenommen hat, nunmehr von ih zurückgestoſsen wird, zu einer Fortleitung der E. längs de Ausdehnung des isolirenden Trägers Veranlassung giebt. Au Coulomb's Versuchen über die allmälige Zerstreuung der E durch die Luft ergab sich das Resultat, daſs wie verschiede auch dem Grade nach die dadurch veranlaſste Zerstreuung nac Verschiedenheit des hygrometrischen Zustandes, der Temperatur und des Luftdruckes an verschiedenen Tagen war, der Verlust doch jedesmal in einen constanten Verhältnisse mit der jedesmaligen el. Spannung blieb, oder einen gleichen verhältniſsmäſsigen Theil in derselben kurzen Zeit z. B. in einer Minut ausmachte, aber freilich zu verschiedenen Zeiten, besonders nacl der hygrometrischen Beschaffenheit sehr verschieden ausfiel. So verlor, durch Hülfe der Drehwaage gemessen, ein elektrisirter Körper das eine mal in jeder Minute nur $\frac{1}{60}$, an einem andern Tage aber $\frac{1}{11}$ von seiner jedesmaligen mittleren Kraft. Anders verhält sich die Zerstreuung der E. durch die isolirenden Träger. Im Anfange, so lange die Intensität der E. noch gröſser ist, ist dieselbe sehr merklich, nimmt aber bald ab, und erreicht eine Grenze, wo alle weitere Zerstreuung durch den Isolator aufhört, und dieser den elektrisirten Körper völlig isolirt, während die Zerstreuung der E. durch die Luft in einem gleichmäſsigen Verhältnisse zu der Intensität der E., wenn die Beschaffenheit der Luft dieselbe bleibt, fortdauert.

Die *Mittheilung* der E. geschieht nicht allein bei der unmittelbaren Berührung, sondern auch schon in einiger Entfernung. In diesem Falle ist sie mehrentheils sichtbar, wenigstens im Dunkeln, und geschieht entweder durch Uebergang in Gestalt eines *Funkens*, oder durch Ueberströmen in Gestalt ei-

des *Licht*- oder *Feuer-Büschels*. Man kann behaupten, dafs in der Regel *Funken* entstehen, wenn die Enden der einander genäherten Körper *stumpf* oder *abgerundet* sind, dafs sich Ströme oder *Feuerbüschel* zeigen, wenn beide Körper oder auch nur einer sich in *Spitzen* enden, und dafs die ebene oder platte Gestalt der genäherten Flächen der Mitteilung sehr hinderlich ist.

Wenn nämlich einem elektrisirten Körper in gehöriger Entfernung ein anderer nicht elektrisirter, vorzüglich ein Leiter genähert wird, so äufsert sich zwischen beiden eine Anziehung, die desto stärker ist, je näher sie einander kommen (ist der eine Körper leicht und beweglich genug, so reifst ihn diese Anziehung bis zur andern fort). Wird endlich die Anziehung sehr stark durch gehörige Annäherung, und sind die Körper abgerundet, so entrteht zwischen beiden der el. *Funken*, durch welchen so viele E. übergeht oder mitgetheilt wird, als zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen beiden Körpern nöthig ist [1]. Die Weite, in welcher dieses geschieht, heifst die Schlagweite. Nachher findet man die E. ebenso unter beiden Körpern vertheilt, als wenn sie sich berührt hätten. Sind beide Körper Leiter, und ist der, welcher den Funken empfing, mit der Erde verbunden, so wird durch denselben die E. gröfstentheils hinweggenommen, jedoch nie so vollständig, wie wenn jener mit der Erde verbundene Leiter in unmittelbare Berührung damit gekommen wäre, da der Uebergang der E. von dem elektrisirten Leiter zu dem andern nur successiv, wenn auch gleich für die Beobachtung instantan, ist, und daher bei der Abnahme der E. in diesem Uebergange ein Punct eintritt, wo für die mit viel geringerer Spannung begabte E. die Schlagweite zu grofs geworden ist, und dieser immer nur sehr schwache Rückstand nicht weiter übergehen kann. Ist der elektrisirte Körper ein Nichtleiter, so ist der Funken schwach; er theilt nämlich nur die E. derjenigen Stelle mit, welcher der andere Körper am nächsten ist.

Bei Versuchen, wo man starke Funken oder überhaupt starke Uebergänge der E. zur Absicht hat, werden aus diesem Grunde die Funken nie aus dem geriebenen Nichtleiter selbst gezogen. Man verbindet vielmehr mit dem geriebenen Körper

---

1 S. *Funken, elektrischer*.

einen isolirten metallischen Leiter, welchem jener seine E. mittheilen muſs, und aus dem man die Funken zieht. Dieses ist der sogenannte *Hauptleiter, erste Leiter, Conductor* dessen Einrichtung bei dem Worte *Elektrisirmaschine* beschrieben wird. Endigt sich der Leiter, der dem elektrisirten Körper entgegengestellt wird, in eine Spitze, so entsteht nicht so leicht ein Funke, und überhaupt nur bei sehr groſser Intensität der E. des elektrisirten Körpers und auf sehr kurze Entfernungen [1]. Aber die Mittheilung oder el. Ausgleichung erstreckt sich nun auf eine viel gröſsere Weite, und erfolgt durch ein anhaltendes, oft mit einem Geräusch begleitetes Ueberströmen wobei sich im Dunkeln die schon mehrmals erwähnten Feuerbüschel zeigen [2].

Ebene Flächen theilen sich, wenn sie einander genähert werden, die E. nicht leicht mit, und können einander in paralleler Richtung sehr nahe gebracht werden, ehe der Uebergang durch einen Funken erfolgt, der nur dann aus einer groſsen Entfernung hervorbricht, wenn etwa auf der einen oder andern Fläche eine Erhabenheit hervorragt, und dann immer an dieser Stelle. Auf einen geriebenen ebenen Harzkuchen kann man eine glatte Metallfläche ganz auflegen und eine Zeitlang ruhen lassen, ohne daſs sie dem Kuchen das Geringste von seiner E entzöge [3]. Wenn den Nicht-Leitern E. mitgetheilt wird, so breitet sich dieselbe nicht über ihre ganze Fläche aus, sondern bleibt auf die Stelle, die sie getroffen hat, eingeschränkt. Um die Mittheilung zu befördern und über die ganze Oberfläche zu verbreiten, pflegt man die Fläche der Nicht-Leiter mit einer leitenden Materie z. B. Zinnfolie, Goldblättchen u. d. g. zu belegen [4].

Ueber die Wirkung der mitgetheilten E. auf organische Körper, Thiere und Pflanzen, hat man sehr viele Versuche angestellt, deren Erfolge indeſs nicht ganz übereinstimmend ausgefallen sind. Was insbesondere die Wirkung der an isolirte Menschen mitgetheilten E. betrifft, so hatten mehrere Physi-

---

1 S. *Elektrisirmaschine.*

2 Vergl. *Spitzen.*

3 S. *Elektrophor*

4 S. *Flasche, elektrische.*

ker, unter andern Gerhard [1] und Cavallo [2] das Resultat aufgestellt, daſs eine stärkere E. auf diese Weise mitgetheilt den Puls schneller gehen mache, die Ausdünstung befördere und die Absonderung der Drüsen vermehre. Indeſs ist dieses Resultat durch eine erste schon im Jahre 1785 mit aller Sorgfalt an 13 nach Alter und Geschlecht verschiedenen Personen, gröſstentheils Aerzten und geübten Beobachtern mit der groſsen Teyler'schen Maschine zu Haarlem angestellte Reihe von Versuchen, wovon van Marum [3] Rechenschaft gegeben, sehr zweifelhaft gemacht worden. Die Veränderungen des Pulses, welche bei der Elektrisirung der wohl isolirten Personen durch jene so kräftige Maschine eintreten, blieben im Ganzen innerhalb der Grenzen, in welchen sie auch natürlicher Weise ohne alle Elektrisirung bei den meisten dieser Personen statt fanden, da der Puls bei den meisten innerhalb einer Minute bald um einige Schläge sich beschleunigte, bald verlangsamte. Bemerkenswerth ist es jedoch, daſs in den Versuchen, in welchen auch negativ elektrisirt wurde, sich bei allen eine *Verlangsamung des Pulses* zeigte, welche in einem Falle bis 10 Pulsschläge in der Minute betrug, während die positive E. sich so gut wie ohne Wirkung zeigte. Am auffallendsten war dieses Resultat bei einem 10jährigen Mädchen, wie folgende Zahlen beweisen:

Minute.	Pulsschläge vor den Versuchen.	Am positiven Leiter.	Am negativen Leiter.
1	92	92	89.
2	97	97	86.
3	100	100	91.
4	101	97	92.
5	100	101	93.

Spätere Versuche von van Marum an 11 andern Personen [4] gaben dasselbe Resultat der Nichtbeschleunigung des Pulses durch

1 In den nouveaux mémoires de l'acad. Roy. de Berlin de l'année 1772. p. 145.

2 Essay on the theory and practice of medical electricity. London 1780. p. 13.

3 S. Beschryving eener ongemeen groote Electrizeermachine etc. door Martinus van Marum Haarlem 1785. 4. Deutsch Leipzig 1786. 4. Abthl. II. Kap. I. S. 46.

4 2te Forts. der Beschryving etc. S. 50 und G. I. 83.

die bloſse Anhäufung der E. in dem Körper, ohne daſs sich j doch in diesen neuen Versuchen ein solcher deprimirender Ei fluſs der negativen E. bestätigt hätte, so daſs vielleicht eine b sondere Idiosynkrasie einzelner Personen mit in Anschlag g bracht werden muſs, die hierbei überhaupt sehr in Betrac kommt, indem die Empfindlichkeit verschiedener Personen f die E. sehr verschieden ist, wie dann sogar Fälle von Person vorgekommen sind, die ganz unempfindlich für E. waren, w z. B. jenes Frauenzimmer, das die stärksten el. Schläge auf an dere überleiten konnte, ohne selbst die geringste Empfindun davon zu haben [1], was auch bei andern Personen in Beziehun auf die Schläge des Zitterals beobachtet worden ist [2]. Grim führt einen Fall eines Menschen an, dem jedesmal, so oft e das Isolatorium betrat, und durch Verbindung mit dem erste Leiter elektrisirt wurde, das Blut aus der Nase floſs [3] und Sun telin [4] erzählt von einem Bekannten, daſs er sich nich lang in der Nähe einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschin habe aufhalten dürfen, ohne mit Leibweh und Durchfall ge straft zu werden. Man hat neulich wieder das negative Resultat van Marum's in Beziehung auf die Beschleunigung des Pulsschlages in Anspruch nehmen wollen, und namentlich behauptete Dr. Böckh [5] in 360 Versuchen gefunden zu haben, daſs sowohl die positive als negative E. den Puls meistens beschleuniget, und nur selten denselben verlangsamet habe. Wenn man indeſs die obige Bemerkung van Marum's über die natürlichen Variationen des Pulses und den Einfluſs mitwirkender Umstände berücksichtiget, so wird man auf jene Behauptung des Dr. Böckh um so weniger Gewicht legen, da die Versuche anderer so vollkommen mit denen van Marum's zusammenstimmen, namentlich Suntelin's [6], der ausdrücklich bemerkt, er glaube sich durch genaue Versuche überzeugt zu haben, daſs die bloſse Anfüllung mit E., das sogenannte *el. Bad*, weder den Puls zu beschleuni-

1 Gilb. Ann. XIV. 424.

2 ebendas. S. 420.

3 Gilb. Ann. VII. S. 355.

4 Anweisung zur medicinischen Anwendung der E. u. s. w. Berlin 1822 S. 17.

5 Beiträge zur Anwendung der E. auf den menschlichen Körper. Erlangen 1791.

6 a. a. O. S. 44.

gen, noch ihn voller zu machen vermöge, und daſs, wo Ausnahmen durch eine besondere Idiosynkrasie statt finden, die Pulsschläge zwar schneller aber nicht voller und stärker, sondern vielmehr kleiner und schwächer wurden, in Folge der ängstlichen Empfindung, welche bei solchen Menschen durch den el. Einfluſs geweckt wird.

Bei Gelegenheit obiger Versuche stellte van Marum auch Versuche über den Einfluſs der E. auf die unmerkliche Ausdünstung an, indem er den Gewichtsverlust von verschiedenen Kindern von 6—8 Jahren durch die unmerkliche Ausdünstung während einer halben Stunde, wenn sie nicht, und wenn sie elektrisirt waren, bestimmte, wo sich indessen keine Vermehrung derselben ergab. Grimm hat indeſs gegen diese letzteren Versuche einige erhebliche Einwendungen gemacht [1] und behauptet, sowohl an sich als an mehreren Kranken, die er elektrisirte, die Ausdünstung bis zum Hervorbrechen des Schweiſses beobachtet zu haben. Auch Suntelin [2] fand die Ausdünstung in seinen mit verschiedenen Personen angestellten Versuchen durch das el. Bad etwas vermehrt, indem ein Spiegel dem Arme derselben in einer gewissen Entfernung gegenüber gehalten getrübt wurde, der unter denselben Umständen, nur daſs die Elektrisirung unterlassen worden, klar geblieben war, leitet aber diese Wirkung von einem bloſsen Fortreiſsen der Feuchtigkeit der Haut durch die zurückstoſsende Kraft der E. ab, so wie die Feuchtigkeit einer Spitze durch den von ihr ausströmenden el. Feuer-Pinsel mit fortgerissen werde. Es ist schwer auszumitteln, welchen Einfluſs auf den Erfolg von Versuchen, wie sie van Marum anstellte, Gemüthsaffecte haben können, insbesondere bei Kindern die Furcht, die in einem entgegengesetzten Sinne wie die E. auf die Ausdünstung wirken, und damit die von letzterer abhängige Vermehrung wieder aufheben könnte. Soviel kann indeſs als ausgemacht angesehen werden, daſs die Vermehrung der Ausdünstung auf keine active Weise durch die Beschleunigung des Kreislaufes des Blutes zu Stande kommt, da diese nach so vielen negativen Versuchen als nicht vorhanden angenommen werden muſs. Die Wirkungen der E. auf das aus der Ader gelassene Blut, worüber Schübler Versu-

1 G. VII. 355.
2 a. a. O. S. 49.

che angestellt hat, gehören mehr in die Physiologie als hier her [1]. Uebrigens wird unter dem Artikel: *Elektricität medicinische* von den Wirkungen der E. auf den kranken menschlichen Organismus noch besonders gehandel werden. Auch auf die *Pflanze* und ihr Wachsthum hatte man nach früheren Versuchen der an diese im isolirten Zustande mitgetheilten E. einen besondern Einfluſs zugeschrieben. Maculray in Edinburgh war der erste, der ein Befördern des Keimens der Pflanzen durch Elektrisiren beobachtet haben wollte, ein Resultat, welches Nollet durch seine Versuche [2] bestätigte. Indeſs ist dasselbe von Dr. Ingenhouss [3] durch sehr genaue Versuche völlig ungegründet befunden. Dieser schafsinnige Beobachter schreibt die vorgegangene Täuschung dem Umstande zu, daſs das Licht auf das Wachsthum junger Pflanzen einem sehr nachtheiligen Einfluſs hat. Nun, sagt er, legte man bei solchen Versuchen die Samenkörner auf den Boden elektrisirter Gefäſse, welche nahe bei der Elektrisirmaschine im Dunkeln standen. Wenn sie dann ungleich besser fortkamen und keimten, als die im Lichte oder an der Sonne stehenden unelektrisirten, so schrieb man dieses bessere Gedeihen ganz ehrlich auf Rechnung der E. Die Ingenhouss'schen Versuche, die mit möglichster Sorgfalt angestellt sind, lehren überzeugend, daſs zwischen dem Wachsthum elektrisirter und unelektrisirter Pflanzen nicht der mindeste Unterschied statt findet, wenn man nur Sorge trägt, beide in einerlei Lage gegen das Licht des Tages und der Sonne zu erhalten. Eben dieses bestätigen auch die von Ingenhouss und Schwankhard gemeinschaftlich angestellten Versuche mit Senfkörnern und Kresse [4], wobei noch bemerkt wird, daſs Zwiebelgewächse, z. B. Hyacinthen, Jonquillen u. d. g. wegen der in verschiedenen Subjecten äuſserst verschiedenen Vegetationskraft bei dergleichen Versuchen niemals sichere Resultate geben. Durch neuere Versuche will indessen Müller [5] allerdings einen wohlthätigen

---

1 Schw. Journ. II. 292.

2 Recherches sur les causes des phénomènes électriques Paris 1749. 4.

3 Versuche mit Pflanzen 3ter Band Wien 1790. 8. 7te und 8te Abtheilung S. 65. 83.

4 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. 1 St. S. 161 ff.

5 Zusätze zu Singers Elementen der E. S. 384.

Einfluſs der E. auf das Keimen beobachtet haben, den er jedoch nur dann am sichersten erhielt, wenn er die Pflanzen bloſs in der el. Atmosphäre des positiven oder negativen Conductors isolirt stellte. Derselbe will auch bei Elektrisirung von verschiedenen Aufgüssen beobachtet haben, daſs sich die Infusionsthierchen viel schneller entwickelten und zu einer vollkommenern Art übergingen, doch bemerkt er selbst, daſs sowohl dieser Erfolg als derjenige der Beförderung des Keimens und Wachsthums der Pflanzen nie mit Gewiſsheit voraus bestimmt werden konnte. Es bleibt also bis weiter dieser Einfluſs wenigstens problematisch.

Bertholon de St. Lazare erzählt in Beziehung auf die Pflanzen [1] einige Versuche, welche Le Drü im Jahre 1776 mit der Mimosa (M. sensitiva L.) angestellt haben will. Diese Pflanze, welche sonst ihre Blätter bei jeder Berührung schlieſst, soll diesem Versuche zufolge sie nicht zusammenziehen, wenn die Berührung mit glatten Stäbchen von Glas, Siegellack, Bernstein oder jeder andern nicht leitenden Materie geschieht. Indeſs wurden diese Versuche von Ingenhouss falsch befunden. Die sorgfältigste Erfahrung bewies ihm, daſs dergleichen Stäbchen nicht mehr und nicht weniger thun, als andere von polirtem Metall, und daſs alles nur darauf ankomme, ob die Berührung erschütternd oder nur vorübergehend ist. Wenn man die Blätter an einen elektrisirten Leiter brachte, so senkten sie sich eben so, als wenn man darauf blieſs, und wenn man die Pflanze mit zusammengefallenen Blättern auf einem Isolirgestelle elektrisirte so erhoben sich dieselben um nichts schneller, als wenn sie unelektrisirt stehen blieben. Auf die Bewegungen der Blätter des *Hedysarum gyrans* (Moving Plant der Engländer) hat man die Wirkung der E. vielmehr nachtheilig gefunden [2]. Verbindung mit elektrisirten Leitern, und Berührung damit, hatte auf diese Blätter gar keine Wirkung, auſser daſs sie, wie andere leichte Körper, angezogen und abgestoſsen wurden. Ward aber das Blatt mit einer geriebenen Siegellackstange berührt, so sank es allmälig nieder, und erhob

1 In seinem Buche über die E. aus dem Französischen. Leipzig 1785. 8. S. 177.

2 S. Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. Bd. 3 St. S. 13.

sich erst nach einigen Stunden. Funken, wenn sie länger fortgesetzt wurden, trieben das aufgerichtete Blatt noch schneller nieder, so daſs es sich den ganzen Tag nicht wieder erhob. Ward das Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen einige Tage lang, obwohl nur Minutenweise fortgesetzt, so verlor das Blatt seine ganze Beweglichkeit und blieb auf immer hängend an den Stiel geschlossen. In diesem Zustande blieb es noch vierzehn Tage bei völlig frischem Ansehen; dann aber ward es gelb, welk und fiel ab. Das Sonderbarste war, daſs dadurch auch alle andern Blätter auf dieser Seite hängend wurden, und sich nicht mehr so lebhaft, wie zuvor, bewegten.

Auf die kleinen Seitenblättchen dieser Pflanze, welche eine eigene, fast willkürlich scheinende Bewegung zeigen, wirkten Funken, Erschütterungen und Berührung mit elektrisirten Körpern gar nicht. Dagegen brachte die Verbindung der ganzen Pflanze mit einem elektrisirten Leiter, welche auf die groſsen Blätter ganz unwirksam war, ein weit lebhafteres und schnelleres Balanciren der Seitenblättchen hervor, welches noch geraume Zeit nach dem Elektrisiren fortdauerte.

Auch van Marum [1] konnte in seinen Versuchen keine eigenthümliche Einwirkung der E. auf die sogenannten reizbaren Pflanzen und ihre so merkwürdigen Bewegungen beobachten. Die Nähe der Conductoren, diese mochten positiv oder negativ geladen seyn, wirkte so wenig, wie ein el. Bad. Gab indeſs der Conductor während letzterem Funken an benachbarte Körper, so schlossen sich die Blätter der Mimosa, und knickten nieder, was aber van Marum nicht sowohl aus der Wirkung der E. als solcher, als vielmehr daraus erklärt, daſs diese empfindlichen Blätter sehr viel bei den abwechselnden Bewegungen leiden, welche der el. Stoſs hervorbringt, da die Blätter auch dann sanken, wenn man ihnen auf eine andere Art abwechselnde Bewegungen mittheilte. Van Marum konnte auch weder bei der positiven noch negativen Elektrisirung so wenig des isolirten als nicht isolirten Hedysarum gyrans die geringste Veränderung in der Bewegung der kleinen Blättchen desselben wahrnehmen [2]. Indeſs hat J. W. Ritter später eine Reihe von el. Versuchen an der Mimosa pudica L. in Parallele mit

---

1 G. I. 114.
2 G. I. 116

gleichen Versuchen an Fröschen[1] angestellt, nach welchen er es für unzweifelhaft hält, dafs die E. als ein ganz eigenthümlicher Reiz, und nicht blofs durch die mit gewissen Wirkungsformen derselben verbundene mechanische Erschütterung auf die Reizbarkeit der Mimosa wirke, dafs in dieser Einwirkung sogar ein polares Verhältnifs der beiden Elektricitäten statt finde, indem die positive E. am stärksten auf Zusammenziehen der Blätter und Sinken der Zweige wirke, wenn sie von Innen nach Aufsen, vom Stamme nach den Enden der Blattabtheilungen ihre Bewegungsrichtung hat, die negative E. am stärksten bei umgekehrter Richtung, worin sich die Mimosen gerade auf die entgegengesetzte Weise wie die Thiere verhalten sollen, wo bei hoher Erregbarkeit vielmehr die negative E., wenn sie von Innen nach Aufsen, vom Nervenstamme nach seinen Endigungen in den Muskeln gerichtet ist (oder bei der Annahme nur *einer* el. Materie der el. Strom die Nerven aufwärts nach ihrem centralen Ende hin sich bewegt) den stärkeren Reiz ausübe. Uebrigens bediente sich Ritter bei diesen Versuchen sowohl der Entladungsschläge schwach geladener Leidner Flaschen, als auch des ununterbrochenen el. Stromes, der vom dem ersten Leiter durch die Mimosa hindurch nach dem Reibzeuge ging, und der in der Mimosa noch Zusammenziehungen hervorbrachte, während er auf ein höchst empfindliches Froschpraeparat ohne Wirkung war.

Wasser, das aus isolirten Gefäfsen durch enge Röhren ausläuft, wird durch Mittheilung der E. schneller herausgetrieben. Sind es Haarröhrchen, durch welche das Wasser im natürlichen Zustande nur tröpfelt, so wird durch die E. ein ununterbrochener Strom hervorgebracht, der sich noch in viele andere Strahlen zertheilt, die E. treibt sogar das Wasser aus den engsten Haarröhrchen, durch welche es vorher nicht einmal durchzutröpfeln im Stande war[3]. Ueber dieses Auslaufen des Wassers aus engen Röhren hat Dr. Carmoy[2] genaue Versuche angestellt. Es blieb nämlich ungeachtet der Verwandlung des Auströpfelns

1 Schweigg. J. d. Ch. I. 409.

2 Nollet Recherches. S. 327.

3 Journ. de Phys. Nov. 1788, übers. im Gothaischen Magazin u. s. w. VII. Bd. 1. St. S. 63. ff.

durch Mittheilung der E. in ein ununterbrochenes Ausfliefsen in einem Strome immer noch die Frage, ob durch dieses Strömen in gleicher Zeit mehr Wasser aus dem Gefäfse getrieben werde als durch das Tröpfeln. Carmoy fand, dafs in einem Zeitraum von 75 Stunden 10 Minuten unter übrigens gleichen Umständen

ohne E.	2 Pfund	12 Unzen	2 Qt.	65 Gr.
mit E.	2 —	11 —	5 —	36½ —

Wasser aus einem Gefäfse gelaufen waren. Dieses war wenigstens das Resultat der meisten Versuche, nach welchen es nicht scheint, dafs durch die E. die Geschwindigkeit des Wassers in Haarröhren in der That vermehrt, und also vielmehr nur die Tropfenbildung wegen der zurückstofsenden Kraft, welche die elektrisirten kleinsten Wassertheilchen gegen einander ausüben, verhindert werden. Andere Versuche mit Auslaufröhren von verschiedener Länge, Gestalt und Durchmesser, gaben zwar andere Resultate, wobei auch manchmal die mit E. ausgelaufene Wassermenge etwas gröfser war, es schien aber blofs von zufälliger Beschaffenheit der Gefäfse abzuhängen.

Ob die Verdunstung des Wassers durch die Mittheilung der E. befördert werde, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an genauen Versuchen. In früheren Zeiten hielt man die Kraft der E., die Verdunstung zu befördern, selbst für so wirksam, dafs mit Hülfe derselben Substanzen sogar durch die Zwischenräume des Glases verdunsten sollten. Pivati in Venedig elektrisirte Glasröhren, in die er Arzneien einschlofs, und glaubte Kranke dadurch geheilt zu haben, auch Winkler in Leipzig meinte zu finden, dafs Schwefel-Zimmet, peruvianischer Balsam u. d. g. durch elektrisirte Glaskugeln verdunsteten, es ward aber dies alles durch Nollet's, Watson's und Bianchini's Versuche gänzlich widerlegt.

Cavallo führt[1] Versuche an, nach welchen er zwei gleich grofsen zinnernen Tellern, auf deren jeden gerade soviel Wasser gegossen wurde, als nöthig war, um den Boden zu bedecken, das eine, welches auf einem isolirten Stative sich befand, und mit dem Conductor der Elektrisir-Maschine in Verbindung gesetzt wurde, innerhalb einer halben Stunde, während welcher es fortdauernd in bedeutendem Grade elektrisirt wurde, durch

1 Versuche über Theorie und Anwendung der medicinischen E. S. 65. 2. Ausg. der Uebers.

Verdunstung mehr verloren hatte, als das andere, das sich mit denselben unter sonst gleichen Umständen befand. Dieselbe Wirkung erhielt CAVALLO, gleichviel ob er die positive oder negative E. anwendete. Diese Versuche sind indeſs selbst in Rücksicht auf ihre Resultate mit so wenig Genauigkeit beschrieben, daſs sie eben darum kein groſses Vertrauen einflöſsen. Dies gilt noch weit mehr von den Behauptungen HERMBSTÄDT's[1], nach welchen die Erfahrung bewiesen haben soll, daſs die E. in Verbindung mit der Wärme eine stärhere Verdunstung veranlasse, als die Wärme für sich allein, ja daſs selbst bei verminderter Temperatur das gebildete expansible Fluidum seine Form unverändert behalte. Letztere Behauptung allein muſs schon hinreichen, das gröſste Miſstrauen einzuflöſsen, da überdies von den Versuchen selbst gar nicht die Rede ist.

Bei dieser Lage der Sachen entschloſs ich mich, sie mit aller Sorgfalt zu wiederholen. Ich elektrisirte daher isolirte Gefäſse von verschiedener Gestalt und Materie mehrere Stunden lang bald positiv, bald negativ, konnte aber nicht den geringsten Unterschied in der Menge des verdunsten Wassers zwischen ihnen und den Gefäſsen, die sich mit ihnen ganz gleich verhielten und unter sonst gleichen Umständen, nur daſs sie nicht elektrisirt wurden, befanden, beobachteten. Um die E. dem Wasser gleichsam mehr einzuverleiben, brachte ich bei gläsernen Gefäſsen Stanniol auf den Boden derselben, und machte mit diesem die leitende Verbindung. Ich bediente mich dabei meiner höchst kräftigen Elektrisirmaschine, welcher die von CAVALLO gebrauchte weit nachsteht. Ohngeachtet also hier vorausgesetzt werden kann, daſs die E. allmälig aus dem Wasser in die Luft überströmte, nahm sie doch kein Wasser in Dunstgestalt mit sich fort, znm Beweise, daſs die E. an und für sich nicht das Princip der Aenderung des Aggregatzustandes der Körper ist.

Wenn man einem durch die Luft-Pnmpe gemachten sogenannten luftleeren Raume (Bolye's Leere) E. mittheilt, so durchdringt sie ihn fast ebenso frei, als den besten Leiter, und zeigt dabei ein sehr ausgebreitetes starkes Licht. Ein el. Feuerbüschel, der in einen solchen Raume strömt, breitet sich aus, und erfüllt alles mit strahlenförmigem Lichte. Eine luftleere Glasröhre zeigt gerieben oder an einem elektrisirten Leiter ge-

1 Gehlen n. allg. J. d. Ch. II. Bd. 330.

halten ein starkes, dem Wetterleuchten ähnliches Licht. Wenn man eine Reihe solcher Glasröhren, die durch die Dämpfe des kochenden Quecksilbers erst so vollkommen luftleer wie möglich gemacht worden sind, und die man dann an der Schmelzlampe von dem Theile, in welchem sich das Quecksilber befindet, abgetrennt hat, von einer Länge von einem oder anderthalb Schuhen theils gerade, theils schlangenförmig gekrümmt in paralleler Richtung neben einander durch kleine Kettchen, die durch messingene Fassungen mit ihnen zusammenhängen an einem isolirten Metalldrahte aufhängt, und an ihrem untern Ende durch ähnliche Kettchen mit einem gleichen Metalldrahte verbindet, von welchem man eine Ableitung nach der Erde führt, und den obern Metalldraht mit dem ersten Leiter einer hinlänglich wirksamen Elektrisirmaschine in Verbindung setzt, so findet durch alle Glasröhren ein beständiges zuckendes, ins blaue oder violette sich ziehendes helles Leuchten statt, das mit den Radiationen des Nordscheins einige Aehnlichkeit hat. Mehrere solche luftleere Glasröhren die sich in einem Mittelpuncte durchkreuzen, bilden einen schönen grofsen Stern oder eine Sonne, deren Strahlen, oder die einzelnen Glasröhren beim Durchleiten der E. bisweilen mit verschiedenfarbigem Lichte, die eine mit grünem, eine andere mit mehr purpurfarbigem Lichte erfüllt sind, wovon der Grund weiter unten erhellen wird. Dieses Leuchten findet auch statt, wenn die E. dem innern Raume der Glasröhre gar nicht mitgetheilt werden kann, weil kein Zuleiter zu demselben führt, und hängt in diesem Falle von der durch Vertheilung erregten E. ab. Haswkbee hat das Leuchten des Barometers [1] schon ganz richtig für eine el. Erscheinung erklärt. Beim Schütteln nämlich reibt das Queksilber die innern Fläche des Glases, und erregt dadurch E., die sich mit ziemlich lebhaftem Lichte in dem relativ leeren Raume ausbreitet. Man hat durch Quecksilberdampf luftleer gemachte Glasröhren, welche ein wenig Quecksilber enthalten. Sie leuchten im Dunkeln, wenn man das Quecksilber hin und her laufen läfst, und dieses Licht ist selbst noch intensiver, als wenn man von Aufsen mitgetheilte E. durch solche Röhren strömen läfst. Hawksbee und nachher Johann

---

1 Vergl. über diesen Gegenstand Th. I. S. 940. dieses Wörterbuches.

Bernoulli [1] haben ihnen den Namen des Quecksilberphosphors gegeben. Eben dies geschieht nun im Barometer. Ludolf in Berlin zeigte, daſs die Barometerröhre während des Leuchtens Papierchen anzog, wenn der äuſsere Raum verdünnte Luft enthielt. Musschenbroek [2] glaubte dagegen aus seinen Versuchen den Schluſs ziehen zu können, daſs das Leuchten im völlig luftleeren Raume nicht statt finde. Wenn man ein recht gutes Barometer zweimal auskocht, so leuchtet es gewöhnlich nach dem zweiten Auskochen stärker, weil das Quecksilber und Glas dadurch in einen vollkommener trockenen Zustand durch die Verjagung auch der letzten Spur des anhängenden Wasserhäutchens versetzt werden, wodurch erst die unmittelbare Berührung und Reibung zwischen beiden, und damit die Elektricitätserregung eintritt, was in einzelnen Fällen auch durch ein länger fortgesetztes erstes Kochen erreicht werden könnte. Kocht man es aber zum drittenmal, so wird das Leuchten schwächer, oder hört ganz auf, weil die Luft nun ganz weggenommen ist. Damit stimmen auch im wesentlichen die späteren Erfahrungen J. A. de Lüc's [3] überein, der jedoch bemerkt, daſs auch die Beschaffenheit des Glases darauf Einfluſs habe, da eine Röhre, deren innere Wandungen mehr rauh sind, auch unter den günstigsten Umständen dieses Leuchten nicht zeigt. Walsh und Morgan [4] stellten noch anderweitige Versuche an, durch welche besonders Letzterer es auſser allem Zweifel gesetzt zu haben glaubte, daſs in der Torricellischen Leere das el. Licht vollkommen verschwinde. Dessaignes wollte sogar bei einer so weit getriebenen Verdünnung unter der Glocke einer Luftpumpe, daſs die an dem Drahte, durch welchen der el. Strom in die Boyle'sche Leere geleitet wurde, hängenden Korkkügelchen gar nicht mehr divergirten, alles el. Licht verschwinden gesehen haben. Indeſs wurde die Nichtigkeit dieser Resultate durch neue Versuche von Candi [5] in Anspruch genommen, weil aber diese Versuche manche Gegeneinwen-

1 De Mercurio lucente in Vacuo. Opp. Tom. II. p. 112.
2 Essai de Physique. Leiden 1751. 4. p. 640.
3 Untersuchungen über die Atmosphäre I. 301.
4 Philos. Trans. 1785. p. 272.
5 Mémoires de l'acad. royale des Sciences à Turin. Tome V. übers. in Gren's. Journ. IV. 93.

dungen zuliefsen und die Sache nicht vollkommen zur Entscheidung brachten, so war es von grofsem Interesse, dafs ein so scharfsichtiger, sinnreicher und geübter Experimentator wie H. Davy eine neue Reihe von Versuchen über das Verhalten der E. in einem möglichst leeren Raume, so weit sich ein solcher auf Erden darstellen läfst, anstellte [1]. Versuche, die auch in anderer Hinsicht wichtig sind, da ihre Resultate auf die Ansicht der Natur der E. und die Erklärung der mit ihrer Bewegung verbundenen Lufterscheinungen von Einflufs sind. Davy bemerkt richtig, dafs die Torricelli'sche Leere, wenn sie auch, gehörig veranstaltet, als eine vollkommene Luftleere angenommen werden könne, doch keinen absolut leeren Raum darstelle, da den neuern Untersuchungen über die Verdunstnng zufolge eine wenn gleich in gewöhnlicher Temperatur höchst dünner Quecksilberdampf darin existire, und es kam also vorzüglich darauf an, diesen soviel möglich aus dem Spiele zu bringen, um beurtheilen zu können, welchen Antheil er in dem gewöhnlichen Falle an den Phänomenen habe. Davy bediente sich zu seinen Versuchen einiger gebogener zweischenklicher Glasröhren mit einem längeren bis 20 Zoll langen Schenkel. Der längere Schenkel war an seinem Ende zugeschmelzt, und entweder mit einem eingeschmelzten Platindrahte versehen, bestimmt, die E. hinein oder heraus zu lassen (der Sprache Davys, der hierin die Franklin'sche Ansicht befolgt, gemäfs) oder statt desselben mit einer kleinen cylindrischen Kappe aus Zinn - oder Platin - Folie, deren er sich bediente, als er die Ladungsfähigkeit des leeren Raumes erproben wollte. An dem kürzeren offenen Schenkel befand sich eine messingene Fassung, in welche sich ein Hahnstück einschrauben liefs, das durch ein bewegliches Rohr mit einer vortrefflichen Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden konnte. Um nun einen leeren Raum zu bewirken, wurde erst der längere Schenkel mit Quecksilber oder geschmolzenem Zinn gefüllt, und dann durch Verbindung mit der Luftpumpe der leere Raum erzeugt, indem im Verhältnisse der Verdünnung das Quecksilber oder das geschmolzene Metall in dem längeren Schenkel herabsinken mufste, wodurch man es in seiner Macht hatte, den leeren Raum in einer gröfse-

1 Aus dem I Part. der Philos. Trans. für 1822 frei übersetzt von Gilb. Ann. 1822. III. 357.

ren oder kleineren Ausdehnung zu bilden, indem man die Luft oder das Gas (in einigen Versuchen war das Rohr und der Apparat vor dem Auspumpen mit Wasserstoffgas gefüllt worden) in dem kürzeren Schenkel so weit zu verdünnen im Stande war, daſs es einer Säule des flüssigen Metalls von jeder beliebigen Länge von 20″ bis $\frac{1}{10}$″ durch seine Elasticität das Gleichgewicht hielt. Das Quecksilber wurde immer erst kurz vor dem Versuche gereinigt, und in der Röhre 6 oder 7 mal von der Spitze nach der Grundfläche und von da nach der Spitze hin ausgekocht. Die so bereitete, wenigstens von Luft gänzlich befreite Torricelli'sche Röhre fand nun Davy für die E. durchgänglich, sie wurde sowohl durch den gewöhnlichen el. Funken als durch die Entladung einer Leidner Flasche leuchtend, und das belegte Glas, das die Leere umgab, nahm dabei eine Ladung an. Der Grad der Stärke dieser Erscheinung hing aber von der Temperatur ab. War die Röhre sehr heiſs, so zeigte sich das el. Licht in dem (Quecksilber-) Dampfe mit lebhafter und sehr intensiver grüner Farbe, in dem Grade aber, als die Temperatur abnahm, verlor die Farbe an Lebhaftigkeit, und in einer künstlichen Kälte von — 20° F. (nahe — 23° R.) war das Licht so schwach, daſs es sehr dunkel seyn muſste, wenn man es wahrnehmen sollte. Auch fand sich die dem Stanniol- oder Platinbleche mitgetheilte E. um so stärker, je höher die Temperatur war, und in 0° F. (— 14$\frac{2}{9}$° R.) Kälte nur äuſserst schwach. Beide Arten von Erscheinungen haben, wie Davy bemerkt, ihren Grund in der gröſseren Dichtigkeit des Quecksilberdampfes in den höheren Temperaturen. Während des Kochens in dem Schenkel der Röhre, in welchem der leere Raum gemacht wurde, zeigte sich das el. Licht in dem ganz reinen und dichten Dampfe des Metalles mit einem solchen Glanze, daſs dieses ein sehr schönes Schauspiel abgab. Während der Quecksilberdampf sich zu Kugeln verdichtete, drang die E., die durch Reiben des Quecksilbers an den Glaswänden erregt wurde, durch den Dampf in so glänzenden Funken hindurch, daſs sie im hellen Tageslichte sichtbar waren [1]. Wenn man in die Leere über

1 Diese Erfahrung ist für die Theorie der Elektricitätserregung besonders wichtig, da sie eine reichliche Erregung derselben auch beim Ausschluſs alles Sauerstoffs und jedes chemischen Processes beweist.

dem Quecksilber die geringste Menge verdünnter Luft hineinliefs, so verwandelte sich jedesmal die Farbe des durch das Hindurchgehen der E. entstandenen Lichtes aus Grün in Meergrün, und liefs man noch mehr Luft hinein, so ging sie in Blau oder Purpur über. Dieser Versuch Davy's erklärt vollkommen jene verschiedenen Farben in den Strahlen (luftleeren Röhren) der el. Sonne, von denen oben die Rede war.

Um allen Quecksilberdampf zu vermeiden, und also das Phänomen in einem, wo möglich absolut leeren Raume darzustellen, versuchte Davy sich statt des Quecksilbers eines leicht zu schmelzenden Zinn-Amalgams zu bedienen, das beim Erkalten in der Röhre anschlofs; die Resultate blieben aber genau dieselben, als da er blofses Quecksilber genommen hatte, woraus erhellte, dafs in der Hitze, wobei das Amalgam schmolz, ein Theil Quecksilber sich als Dampf verflüchtigt haben mufste, der beim Abkühlen nicht ganz verschwinden konnte, sondern nur auf eine geringere Dichtigkeit zurückging. Eine Leere über der leicht schmelzbaren Wismuth-Legirung (das Rose'sche Metallgemisch) hervorzubringen, mufste Davy nach einigen Versuchen aufgeben. Diese Legirung ist so äufserst leicht oxydirbar, dafs sie die Glasröhre mit Schmutz dicht überzog und undurchsichtig machte. Dagegen hat Davy viele Versuche mit Zinn angestellt, welches er in kleine Stücke zerschnitt, und sogleich in die Röhre brachte, worauf diese mit Wasserstoffgas gefüllt, ausgepumpt und einer Hitze ausgesetzt wurde, bei welcher das Zinn schmelzte. Wenn mit dem Erhitzen eine Zeitlang unter Schütteln und daran Klopfen fortgefahren wurde, so erhielt er eine Säule geschmolzenen Zinns, die von aller Luft vollkommen befreit war. Dennoch zeigte der leere Raum über dem Metall dieselben el. Erscheinungen, als in Temperaturen unter 0° F. das über Quecksilber gebildete Vacuum. Das Licht war gelb und von der schwächsten Phosphorescenz, so dafs es fast vollkommen dunkel seyn mufste, wenn man es gewahr werden sollte; die Wärme verstärkte dieselbe nicht merklich. Davy fand auch in der Leere über dem Quecksilber feine mit Kügelchen versehene Platindrähtchen beim Einströmen der E in dieselben eben so divergiren, als in der Luft selbst. Bei der Art, wie Davy diese Versuche anstellte, ergab sich zugleich der entscheidende Beweis, dafs die Schwäche des Lichtes in der vollkommenen Luftleere nicht davon herrühre, dafs diese

Leere ein Nichtleiter der E. sey, sondern vielmehr umgekehrt, daſs dieselbe ein sehr vortrefflicher Leiter ist, und der Ausbreitung der E. kein Hinderniſs in den Weg legt. Als nämlich die Versuche so abgeändert wurden, daſs die Verbindung, die zwischen dem Quecksilber und dem kürzeren Schenkel und dem Hahnstücke sonst durch einen Draht unterhalten war, aufgehoben wurde, und die E. ihren Weg von jenem Quecksilber nach dem Hahnstücke durch die verdünnte Luft, die sich darin befand, nehmen muſste, so entband dieselbe Entladung von E., welche in dem oberen leeren Theile des längeren Schenkels ein schwaches grünes Licht erzeugte, in dem unteren luftverdünnten Raume ein lebhaftes purpurfarbenes Licht, und gab in der Atmosphäre einen starken Funken.

Auch über Baumöl und Spieſsglanzbutter widerholte Davy den Versuch mit dem el. Lichte im luftleeren Raume. Es fand sich, daſs die E. durch den Dampf des Chlorantimon's mit viel glänzenderem Lichte als durch den Dampf des Baumöls hindurch ging, und in letzterem mit mehr Glanz als im Quecksilberdampfe, bei gewöhnlicher Temperatur erschien, so daſs also auch hier die Dämpfe im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit den Glanz vermehrten. Im Dampfe des Chlorantimon's war das Licht von reinem *Weiſs* und im Dampfe des Baumöls *roth* in *Purpur* spielend, und es erzeugte sich in beiden Fällen beim Hindurchgehen der E. ein bleibend elastisches Fluidum. Wenn man Dalton's Gesetz zum Grunde legt, daſs die E. aller Dämpfe in gleichen Temperaturabständen von ihrem Siedepuncte von gleicher Gröſse sey, so ergeben sich bei 52° F. für die Dämpfe des Quecksilbers, Olivenöls, Chlorantimon's und Zinns, von denen die drei ersteren ihre Siedepuncte bei 652; 592 und 388° F. haben, und des letzten Siedepunct von Davy zu 5000° F. angenommen wird, in Zollen von Quecksilbersäulen ausgedrückt, Elasticitäten von 0,000 156; 0,0168 und 0,0169, und 370 mit vorstehenden 48 Nullen, woraus erhellet, wie auſserordentlich gering die Menge von Materie in den Dämpfen ist, deren Wirkung auf die el. Erscheinungen noch wahrgenommen wird. Bis ohngefähr 20° F. (— 5$\frac{1}{2}$° R.) schien die Erkältung der Leere noch Einfluſs auf die Verminderung der Licht-Erscheinung beim Durchgehen der E. zu äuſsern, aber zwischen 20° und — 20° F (— 23$\frac{1}{9}$° R.) schien dieses Vermögen der Leere nicht weiter vermindert zu werden. Die el. Er-

scheinungen zeigten sich hier fast von derselben Intensität, als die welche Davy in der Leere über geschmolzenem Zinn wahrgenommen hatte, und damit in diesem Falle Leuchten eintreten sollte, muſste die Elektrisirmaschine schon sehr wirksam seyn. Die Torricelli'sche Röhre vermochte nicht eine schwach geladene Leidner-Flasche mit Explosion zu entladen, ohngeachtet sich ihre E. langsam durch sie hindurch verlor. Wenn aber die Flasche stark geladen war, hatte sie durch den leeren Raum fast eine eben so groſse Schlagweite, als durch die gewöhnliche Luft, und zeigte beim Entladen im Schatten sichtbares Licht. In allen Temperaturen unter 200° F. (74$\frac{2}{9}$° R.) war, wie sich Davy ausdrückt, die Leere über dem Quecksilber ein viel schlechterer Leiter, als die sehr verdünnte Luft, und als sich die Röhre mit der Leere unter dem ausgepumpten Recipienten der Luftpumpe in einer Temperatur von ohngefähr 50° F. (8° R.) befand, war die Schlagweite in der Boyle'schen Leere 6 mal so groſs, als in der Torricelli'schen Leere über dem Quecksilber. Diese letztere Erfahrung scheint mir indeſs nicht unbedingt auf ein gröſseres Leitungsvermögen, der verdünnten Luft wie der Leere, für die E. hinzudeuten, denn es konnte die Leere vielmehr wegen ihres viel bessern Leitungsvermögens eine fortdauernde Ableitung, einen Durchgang der E. durch sich hindurch, veranlassen, und die zu einer gröſseren Schlagweite nöthige Spannung nicht gestatten, gerade so wie eine Flasche, die mit einer Spitze versehen ist, die das Ausströmen erleichtert, nie zu derselben Schlagweite geladen werden kann, wie dieselbe Flasche ohne Spitze. Damit würde denn auch die Erklärung der Abnahme der Lichterscheinung in der Leere sehr gut zusammenstimmen, indem el. Lichterscheinungen nur da zum Vorschein kommen, wo die E. in ihrer Fortbewegung Widerstand findet, welcher in der Leere gänzlich, oder so gut wie gänzlich fehlt (wegen der auſserordentlichen Dünnheit des Quecksilberdampfes bei der gewöhnlichen Temperatur), aber in der verdünnten Luft bereits statt findet. Indeſs kann sich in dieser die E. bei derselben Spannung, wegen des relativ geringeren Widerstandes, doch auf gröſsere Entfernungen entladen, als in der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit, und bildet dann mehr eine ausgebreitete Lichterscheinung, selbst wenn sie von stumpfen Körpern ausgeht, weil sie wegen des geringeren Widerstandes zugleich von mehreren

Puncten ausstrahlen kann. Uebrigens werden einige besondere Modificationen der el. Lichterscheinungen in der verdünnten Luft weiter unten, wo die Frage über zwei el. Materien zu erörtern ist, passender betrachtet werden, da man in dem über diese Frage herrschenden Streite sich vorzüglich auf sie berufen hat.

Bei der Mittheilung der E. an verschiedene Körper und bei ihrem, mit dieser Mittheilung verbundenen, Durchgange bringt dieselbe merkwürdige chemische Veränderungen hervor, die ich unter den Artikel *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische,* verweise, da sie nur durch Hülfe dieser beiden zu Stande gebracht werden können.

V. Elektrische Wirkungskreise und Vertheilung der Elektricität.

Die merkwürdigsten Erscheinungen der E., welche für die Naturforscher lange Zeit räthselhaft geblieben sind, hängen von den Gesetzen der *el. Wirkungskreise* ab, deren richtige Unterscheidung von den bisher angegebenen Gesetzen und Wirkungen der Mittheilung der Schlüssel zu allen Geheimnissen dieser Lehre ist, und selbst über den Vorgang der Mittheilung der E. erst die richtige Ansicht eröffnet.

Ein elektrisirter Körper nämlich wirkt auf andere Körper schon in Entfernungen, welche für die Mittheilung viel zu groſs sind. Der Raum, durch welchen sich diese Wirkung erstreckt, heiſst sein *Wirkungskreis,* oder nach andern seine *el. Atmosphäre.* Das Hauptgesetz, nach welchem sich diese Verbreitung richtet, ist folgendes: *Jeder elektrisirte Körper hat das Bestreben, in denjenigen Körpern, welche in seinen Wirkungskreis kommen, eine der seinigen entgegengesetzte E. zu erwecken, und das Vermögen, das in einem Körper vorher bestandene el. Gleichgewicht, oder das 0 E. aufzuheben, gegen sich die der seinigen entgegengesetzte E. hinzuziehen, und die gleichnamige zurückzustoſsen.*

Dieses Gesetz, welches unzählige Erfahrungen bestätigen, ist eine ganz neue Quelle von Wirkungen, die von den Wirkungen der Mittheilung sehr weit unterschieden sind. Man kann sie unter dem Namen: *Vertheilung* der E. zusammenfassen, und in gewissem Sinne der Mittheilung entgegensetzen.

Jener Name wird dadurch gerechtfertigt, dafs ein, durch Vertheilung el. gewordener Körper keine E. von Aufsen durch Mittheilung empfangen hat, sondern dafs nur seine eigene E. im Raume anders vertheilt ist, und dadurch nunmehr als nach Aufsen freithätige E. auftritt, da sie vorher, als 0, unwirksam nach Aufsen war. Die Erscheihungen der Vertheilung, obschon nach dem gleichen Gesetze erfolgend, fallen verschieden aus, je nachdem der Körper, auf welchen ein anderer elektrisirter durch seine Atmosphäre wirkt, ein Leiter oder Nichtleiter, und ersterer isolirt ist, oder mit dem Erdboden in Verbindung steht.

Der erstere Fall stellt diese Erscheinungen am deutlichsten und in ihrer gröfsten Mannigfaltigkeit dar, und man kann die dieselben darstellenden Versuche gleichsam die Fundamentalversuche der el. *Atmosphärenwirkung* nennen. Man nehme zwei el. Leiter, beide gehörig auf Glasfüfsen isolirt, A und B am besten von länglicher cylindrischer Form mit Halbkugeln an beiden Enden versehen. Die zu einer kleineren Elektrisirmaschine gehörigen Conductoren können sehr gut zu diesen Versuchen gebraucht werden. Der eine Leiter A sey elektrisirt, an dem andern befestige man mit weichem Wachs in verschiedenen Entfernungen mehrere Paare von kleinen, an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, welche als Anzeiger der el. Vorgänge im Leiter B dienen. Operirt man mit schwächeren Graden von E., so kann man sich auch mehrerer Goldblattelektrometer bedienen, die an verschiedenen Stellen von vorne nach hinten mit dem Leiter B in Berührung gebracht werden können, um auf die oben schon angegebene Weise den Grad und die Art der E., welche an den verschiedenen Stellen des Leiters B auftritt, zu prüfen. Man nähere nun den mit + E. elektrisirten Leiter A dem Leiter B, und bringe ihn in die Lage, wie die Figur andeutet, so dafs ihre Entfernung von einander etwas gröfser ist, als die gröfste Entfernung, bei welcher ein Funken von A nach B noch übergehen würde; mit der Annäherung werden die Hollundermarkkügelchen aus einander gehen, und zwar die am vordern und hintern Ende bei der in der Figur angegebenen Einrichtung am stärksten, die in der Mitte weniger stark, vielleicht auch bei nicht starker Intensität der E. des Leiters A gar nicht. Prüft man dagegen die E. durch ein Goldblattelektrometer, das man mit dem Leiter B an verschiedenen Stellen in Verbindung bringt, nachdem schon die Annäherung des Leiters erfolgt ist, so wird

man die Divergenz der Goldblättchen von vorne nach hinten zunehmend finden. Um die Art der E. des Leiters an verschiedenen Stellen zu prüfen, kann man sich eines an einem mit Lack gesteiften Faden hängenden Hollundermarkkügelchens bedienen, das man mit den verschiedenen Stellen des Leiters B in Berührung bringt, und dann einen andern an einem seidenen Faden hängenden Hollundermarkkügelchen nähert, dem man vorher + E. mitgetheilt hat[1]. Man wird finden, dafs letzteres von jenem abgestofsen werden wird, mit welchem Puncte des Leiters B dasselbe auch in Berührung gebracht worden war, dafs es aber von dem hintern Ende V nach dem vordern R geführt immer schwächer und schwächer mit + E. geladen ist. Dasselbe werden auch die Goldblättchen der verschiedenen Goldblattelektrometer zeigen, die bei Annäherung einer geriebenen Glasröhre noch stärker divergiren werden. Es hat also nach diesen Versuchen den Anschein, dafs der Leiter B wirklich von dem Leiter A Elektricität empfangen habe, da er sich in der That in seiner ganzen Längen-Ausdehnung + el. zeigt, und dieser Anschein gewinnt noch dadurch, dafs die positive E. des Leiters A, so lange er in der Nähe des Leiters B sich befindet, durch Elektrometer geprüft, geschwächt erscheint. Dafs dies aber in der That sich nicht so verhalte, erfährt man sogleich durch einen zweiten Versuch. Man entferne nämlich nunmehr den Leiter B aus dem Wirkungskreise des Leiters A, in dem Augenblicke gehen alle Hollundermarkkügelchen zusammen, und bei gehöriger Entfernung sind auch die leisesten Spuren von E. in dem Leiter B gänzlich verschwunden. Untersucht man den Leiter A, dessen el. Spannung man vorher durch irgend ein genaues Elektroskop ausgemittelt hat, so wird man finden, dafs er von seiner eigenen E. nicht mehr (ja vielmehr noch etwas weniger wegen des mehr gebundenen Zustandes seiner E.) verloren hat, als er auch ohne dies durch die Berührung der Luft verloren haben würde.

Man bringe den Leiter B in die vorige Lage zurück, dieselben Erscheinungen erneuern sich; man berühre nun das vom Leiter abstehende Ende V des Leiters B mit dem Finger, man wird einen kleinen Funken erhalten, und jede Spur von freier E. wird in dem Leiter B verschwunden seyn, wie man auch

1 Noch besser gebraucht man zu diesem interessanten Versuche Bohnenberger's Elektrometer.

aus dem Zusammenfallen der vorhin von einander abstehenden Hollundermarkkügelchen erkennen kann. Entfernt man den Leiter B in diesem neuen Zustande von dem Leiter A, so werden, ganz anders wie im vorigen Falle, die sämmtlichen an ihm hängenden Hollundermarkkügelchen von neuem aus einander gehn, und zwar mit einer derjenigen des Leiters A entgegengesetzten E., also im vorliegenden Falle mit negativer E. Der elektrisirte Leiter A, in Rücksicht auf seinen el. Zustand untersucht, wird auch diesmal keinen andern Verlust zeigen, als den er auch ohnehin durch Berührung der Luft erlitten haben würde. Um das Zusammenfallen der Korkkügelchen, und also die Aufhebung der freien positiven E. des Leiters B, so lange er sich im Wirkungskreise des Leiters A befindet, zu bewirken, ist es übrigens nicht nöthig, gerade das abgekehrte Ende des Leiters B zu berühren, sondern die Berührung an jedem andern Orte wird denselben Erfolg haben, nur wird der Funken nach vorne immer kleiner ausfallen. Dies beweiset unter andern folgender von Röslin[1] angegebene Versuch, dessen Resultat er indefs mit Unrecht als einen Beweis gegen die Franklin'sche Theorie angesehen hat. Man schraube an das eine Ende eines auf einem Glasfufse isolirten cylindrischen Leiters, an dessen anderem Ende zwei Hollundermarkkügelchen hängen, eine ganz glatte und breite Metallplatte an, und nähere dieser eine geriebene, also + E. haltige Glasstange, so gehen die Kügelchen mit + E. aus einander. Berührt man nun die der Glasstange zugekehrte Fläche der Metallplatte mit einem Leiter z. B. dem Finger, so fallen sie eben so gut zusammen, wie wenn man das abgekehrte Ende unmittelbar berührt hätte; entfernt man zuerst die Finger und dann auch die Glasstange, so gehen die Hollundermarkkügelchen abermals, aber mit negativer E. aus einander, und der Leiter ist auf seiner ganzen Oberfläche negativ el. Röslin glaubt hierin einen Widerspruch mit der Franklin'schen Theorie zu finden, weil sich negative E., welche nach Franklin in einem Mangel besteht, einem Leiter von Aufsen nicht mittheilen lasse, aber die Franklin'sche Theorie ist zur Annahme einer solchen Mittheilung auf keine Weise genöthigt, sondern sie wird das Phänomen vielmehr durch Entziehung der freien positiven E. des

---

1 S. dessen kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre 1823. S. 19.

durch Vertheilung el. gewordenen Leiters, die aus allen Puncten desselben, jedoch mit sehr verschiedener Intensität sich zu verlieren strebt, befriedigend erklären können. Ein ganz gleiches Phänomen (und insofern bedurfte es nicht erst dieses Versuches) zeigt sich auch beim Deckel des Harzkuchens eines Elektrophors, dessen durch die negative E. des Harzes zurückgetriebene negative E. nicht bloſs an der abgekehrten Fläche oder am Rande des Deckels, sondern selbst von der auf dem Harzkuchen unmittelbar aufruhenden Fläche abgeleitet oder nach Franklin mit E. von Auſsen ausgeglichen werden kann.

Einige Physiker, unter andern Parrot[1] haben eine ganz verfehlte Ansicht der Vertheilung aufgestellt, wenn sie den in der Atmosphäre des z. B. mit + E. elektrisirten Leiters A befindlichen Leiter B gleichsam als einen el. Magnet darstellen, dessen eine abgekehrte Hälfte freies + E., die andere zugekehrte Hälfte freies — E. habe, welche durch eine Sphäre von el. Differenz oder 0 E. in der Mitte von einander getrennt seyen, so daſs Hollundermarkkügelchen, die an verschiedenen Puncten des Leiters aufgehängt würden, in gleicher Entfernung von dieser Mitte gleich stark divergirten, jedoch mit entgegengesetzter E., an der dem + E. zugekehrten Hälfte nämlich mit negativer, an der abgekehrten Hälfte mit positiver E., daſs die in der Mitte angehängten Kügelchen ohne alle Divergenz seyen, und wenn man das abgekehrte Ende des Leiters mit dem Finger berühre, mit dem Aufhören der Divergenz der an ihm hängenden Kügelchen die der an der vordern Hälfte hängenden zunähme. Schon aus bloſsen Begriffen läſst sich die Unrichtigkeit dieser Ansicht einsehen, da ja das — E. am vordern Ende nur durch die stärkere Wirkung des Leiters A, in dessen Wirkungskreise sich B befindet, von seinem + E. getrennt worden ist, und getrennt gehalten wird, also auch eben so *vollkommen* gebunden seyn muſs, als es vorher gebunden war, und folglich auf keine Weise als freies — E. nach Auſsen wirken kann. Jeder Versuch kann aber auch zur Widerlegung dienen, welcher zeigen wird, daſs das Probekügelchen, mit welchem Puncte des Leiters B, ob an der vordern, nach Parrot negativ seyn sol-

1 S. unter andern dessen Entretiens sur la Physique Tome V. 1822. p. 28.

lenden, oder an der abgekehrten positiven Hälfte man es in Berührung bringt, stets *positiv* el. erscheinen wird. Aber freilich kann es sich ereignen, daſs die an der vordern Hälfte hängenden Korkkügelchen stärker divergiren werden, als die in der Mitte hängenden, weil die dem vordern Ende des Leiters B nähere positive E. des Leiters A mehr + E. in diese Korkkügelchen herabtreiben, und dieselbe in höherem Grade spannen wird, indem die — E., dieses vorderen Endes durch die + E. des genäherten Leiters A am meisten gebunden ist. Die richtige Ansicht eines in der Atmosphäre eines ± elektrisirten Leiters A befindlichen Leiters B ist vielmehr diese, daſs er von vorne nach hinten gleichzeitig ∓ el. ist, so zwar, daſs wenn A + E. hat die — E. am vordern Ende am stärksten angehäuft ist, und abnehmend nach hinten, aber in ihrer ganzen Ausdehnung vollkommen gebunden, die + E. dagegen am stärksten angehäuft nach hinten, abnehmend nach vorne, aber in ihrer ganzen Ausdehnung frei ist, daher sie an jedem Puncte entzogen werden kann, während die — E. zurückgehalten bleibt. Dasselbe gilt nur mit verkehrten Zeichen, wenn der Leiter A — el. ist. Indeſs lassen sich doch durch eine eigenthümliche Art des Verfahrens die beiden Elektricitäten im Raume getrennt und doch jede für sich frei thätig darstellen, die noch weiter zur Erläuterung des ganzen Vorganges der Vertheilung dient. Dieser Versuch ist schon von Wilke angestellt worden. Man setze einen Metallcy-
Fig. linder AB aus zwei von einander trennbaren Stücken AC und
31. CB in C zusammen, und zwar so, daſs beide Theile isolirt mit einander in Berührung gebracht und auch wieder von einander getrennt werden können. Man setze sie in Berührung mit einander, und halte dem einen Theile AC eine geriebene, und also + E. haltige Glasröhre, oder auch einen mit + E. geladenen Leiter, wie im obigen Versuche, gegenüber, doch in hinlänglicher Entfernung, daſs kein wirklicher Uebergang von E. erfolgen kann. Während dieser Stellung ziehe man den zweiten Theil BC des Leiters ACB weg, entferne dann auch die Glasröhre oder den elektrisirten Leiter, und untersuche nun den el. Zustand der beiden Hälften AC und BC. Man wird dann AC negativ, BC positiv finden, so lange AC in der Nähe des elektrisirten Leiters sich befand. Wird indeſs die durch den genäherten elektrisirten Körper gebundene negative E. der vordern Hälfte mit der Entfernung desselben vor der Trennung

beider wieder frei, so kann sie mit der + E., die in der hintern Hälfte angehäuft war, wieder zu 0 zusammentreten.

Man hat es indeſs in seiner Gewalt, durch eine besondere Vorrichtung vermöge der Vertheilung beide Elektricitäten in einem Leiter im freien Zustande darzustellen, so daſs die zwei polaren Hälften durch eine Zone von Indifferenz oder 0 E. von einander getrennt sind. Einen interessanten Versuch dieser Art hat Riemer bekannt gemacht[1]. Er bediente sich hierzu einer Cylindermaschine, deren Reibzeug mit einem gleichen isolirten Conductor verbunden war, wie der sogenannte erste oder positive Leiter. A ist der positive, B der negative Conductor, beide isolirt; c und d sind geschärfte Drähte, welche auf die Conductoren gesteckt werden, und EF ist ein gebogener Draht, der isolirt über dem Cylinder der Maschine so aufgehängt ist, daſs das Ende E desselben von der Spitze c und das Ende F von der Spitze d nur 1,5 Zoll absteht. Wurde der Cylinder der Maschine in Bewegung gesetzt, so zeigte sich auf der Spitze d ein Strahlenpunct, an F ein Büschel, an E ein Punct, an c ein Büschel. Hieraus ergiebt sich also, daſs die beiden entgegengesetzten Enden des Drahtes EF mit freier entgegengesetzter E. auftraten, indem der Strahlenpunct an E auf *negative*, der Strahlenbüschel an F auf *positive* E. hinweiset. Aber nicht bloſs diese Endpuncte zeigen entgegengesetzte Elektricitäten, sondern auch die beiden Hälften des Drahtes; denn an seidenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen, positiv elektrisirt, wurden von allen Puncten der einen Hälfte von F nach I abgestoſsen, von allen Puncten der andern Hälfte angezogen, und umgekehrt verhielten sich negativ elektrisirte Hollundermarkkügelchen; nur von der mittlern Stelle in I wurden beide gleichmäſsig angezogen, was nur unter der Bedingung möglich war, daſs I, 0 E. hatte. Die Stelle des el. Indifferenzpunctes an dem Drahte konnte dadurch verändert werden, daſs man den positiven oder negativen Leiter mit dem Erdboden in Verbindung setzte. Wurde z. B. der negative Leiter B mit dem Erdboden verbunden, so war zwar in Ansehung der Lichterscheinungen an den Spitzen alles wie im vorigen Versuche, aber der Indifferenzpunct lag nun nicht mehr in I sondern der Draht war von F bis x positiv elektrisirt, von x bis E hingegen negativ, und der Indifferenzpunct lag in x.

Fig. 32.

1 Gilb. Annalen XVII. 15.

Als darauf der Conductor A mit dem Erdboden verbunden und B wieder isolirt wurde, so fand sich bei fortdauernden gleichen Lichterscheinungen der Draht zwischen E und y negativ, zwischen y und F positiv. Folglich war nun y der Indifferenzpunct geworden. Es ist zwischen diesen Phänomenen und den Phänomenen der gewöhnlichen Vertheilung, wo es nicht zur wirklichen Bewegung der E., zum Ausströmen kommt, der bemerkenswerthe Unterschied, daſs auch diejenige E., welche durch die ihr entgegengesetzte aus dem 0 entwickelt und angezogen wird, im ersteren Falle nicht gebunden ist, sondern mit freier Spannung auftritt, wovon der Grund in der eigenthümlichen Wirkung der Spitzen und in der dadurch eingeleiteten wirklichen Bewegung der Elektricitäten zu suchen ist[1].

Anders als bei den Leitern verhalten sich die Phänomene der Vertheilung bei den Nichtleitern. Ein Nichtleiter wird zwar an dem Ende, welches in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers gebracht worden ist, ganz nach dem obigen Gesetze el. werden, aber dieses wird sich wegen des Widerstandes, den der Nichtleiter als solcher der Verbreitung der E. entgegensetzt, nur auf eine geringe Weite erstrecken und nicht sehr stark seyn. Weiterhin wird der Leiter abwechselnde Zonen von + E. und — E. erhalten, von denen stets die folgende durch den Wirkungskreis der vorhergehenden hervorgerufen worden ist. Eine lange Glasröhre z. B. gegen + E. gehalten, wird am nächsten Ende auf einige Zolle weit — E., dann einige Zolle weit + E., dann wieder — E. u. s. f. zeigen, welche Elektricitäten aber weiter hin immer schwächer werden und sich endlich ganz verlieren. Die nicht leitende Eigenschaft des Glases nämlich verhindert den wirklichen Uebergang, und so zeigen sich bloſs die Wirkungen der Atmosphären, welche abwechselnd sind, weil jede folgende Zone im Wirkungskreise der vorhergehenden liegt, und abnehmend, weil jede E., die aus der Ferne wirkt, eben darum nur eine kleinere Quantität, als sie selbst beträgt, aus dem 0 freimachen kann. Etwas ganz ähnliches bemerkt man auch bei der Magnetisirung eines längeren Stabes von Stahl, der gleichfalls ein Nichtleiter oder wenigstens schlechter Leiter des Magnetismus ist, durch einen Magnet, der mit seinem einen Pole bloſs an das Ende des Stabes gehalten wird. Auch hier

1 S. *Spitzen*.

zeigen sich längs dem Magnetstabe abwechselnde Schichten oder Zonen von nördlicher und südlicher Polarität, die abnehmend sind.

Bringt man in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers einen andern schon elektrisirten, so werden sich gleichfalls Erscheinungen zeigen, die dem obigen Gesetze gemäfs sind. Wird der Körper mit der Erde verbunden, so wird er seinen Zustand dem Gesetze gemäfs ändern. Der Fall ist dann eigentlich gleich geltend mit dem obigen, da durch diese Verbindung mit der Erde jeder Körper aus dem ± Zustande in den 0 el. Zustand zurücktritt; ist er isolirt, so wird er seinen el. Zustand so weit ändern, als die Umstände es zulassen, und übrigens ihn noch mehr zu ändern fähig seyn. Bringt man z. B. + E. in den Wirkungskreis von — E., so wird die + E., wenn sie mit der Erde verbunden wird, nach Mafsgabe der Umstände sich mit — E. aus dem Erdboden zum Theil ausgleichen, oder unverändert bleiben, oder einen Zuwachs von + E. aus dem Erdboden erhalten, je nachdem im Verhältnisse der jedesmaligen Entfernung, aus welcher — E. wirkt, und ihrer ursprünglichen Intensität, sie entweder nicht im Stande ist, die vorhandene + E. vollkommen zu binden, oder gerade hinreichende Wirksamkeit hierzu hat, oder noch mehr + E. binden kann. Ist der Körper, an welchem sich + E. befindet, isolirt, so wird er fähig werden, mehr + E. anzunehmen und unfähiger, + E. zu verlieren oder mitzutheilen, d. h. mit andern Worten, der Körper wird unter diesen Umständen mehr Capacität für + E. und eine gröfsere Tenacität in Beziehung auf dasjenige, was sich bereits an ihm befindet, erhalten. Dies erklärt die Erscheinungen des *Collectors, Condensators, Duplicators, Multiplicators*[1]. Ist die E. des isolirten Körpers, welcher in den Wirkungskreis eines andern elektrisirten Körpers kömmt, gleichartig mit derjenigen des letztern, so verhält sich alles umgekehrt; seine E. wird an Spannung zunehmen, er wird unfähiger, neue von derselben Art aufzunehmen, fähiger sie zu verlieren, oder seine Capacität für dieselbe Art von E. welche er besitzt, ist vermindert.

Aus dem Gesagten erhellet nun auch von selbst, dafs jeder Mittheilung von E. Vertheilung vorangeht, und dafs sie, sofern hier die Theorie zweier Materien zum Grunde gelegt,

1 S. diese Artikel.

oder den beiden durch + und — bezeichneten Elektricitäten eine zweckmäſsige Wirksamkeit, jedoch eigenthümlich für jede zugeschrieben wird, nicht in einer bloſs einseitigen Einwirkung, sondern in einem wechselseitigen Geben und Empfangen besteht. Ehe zwei Körper, wovon der eine elektrisirt ist, und sich also in dem Falle der Mittheilung an den andern unelektrisirten befindet, einander so nahe kommen, daſs eine wirkliche Mittheilung oder Ausgleichung vorgeht, hat der elektrisirte Körper bereits durch Vertheilung in dem andern die der seinigen entgegengesetzte E. gegen sich gezogen, und die Verminderung, die er an E. erleidet, beruht daher nicht bloſs auf einem Uebergange eines Theils seiner E. an den andern Körper, sondern zugleich auf dem Uebergange jener entgegengesetzten E. zu ihm selbst, und davon abhängiger Ausgleichung eines verhältniſsmäſsigen Antheils zu 0, wodurch in jenem andern Körper, wenn er isolirt ist, ein verhältniſsmäſsiger Antheil der entgegengesetzten, und mit derjenigen des elektrisirten Körpers gleichnamigen E. freigeworden ist, die folglich eben so sicher seinen Zustand, nachdem es zur Ausgleichung gekommen ist, mitbestimmt, als denjenigen Theil, welchen er empfangen hat. Indeſs irren diejenigen, welche der Meinung sind, daſs alle E. welche ein solcher Körper nach dem Vorgange der Mittheilung, und also nach vollendeter Ausgleichung zeigt, lediglich aus seinem eigenen 0 hervorgegangen sey, denn nothwendig muſs die freie E. des el. Körpers, da sie die entgegengesetzte des nicht elektrisirten an Intensität übertrifft, den Zwischenraum, wenn es zu einer wirklichen Ausgleichung durch einen vorübergehenden Funken kommt, eher durchbrechen und folglich kann sie eben wegen ihrer gröſsern Intensität auch nicht durch den von ihr hervorgerufenen Gegensatz völlig ausgeglichen werden, und muſs demnach neben der ihr gleichnamigen E., die sie gleichzeitig aus jenem 0 frei gemacht hat, zugleich zu dem neu gewordenen el. Zustande jenes Körpers mit beitragen.

Aus dem Gesetze der Atmosphärenwirkung erklärt sich auch das Anziehen und Zurückstoſsen leichter Körper. Eine geriebene + E. haltige Glasröhre, leichten Körpern genähert, erweckt in ihnen, sobald sie in ihren Wirkungskreis kommen, — E., und dann ziehen beide einander an. Sobald diese Körperchen aber die Röhre berühren, erfolgt Mittheilung in dem eben angegebenen Sinne, die Körperchen haben + E. und die

Glasröhre stöfst sie zurück. So lange sie isolirt bleiben (wenn sie z. B. an einem seidenen Faden aufgehängt sind) behalten sie, wenigstens eine Zeitlang, ihre + E., und werden nicht wieder angezogen, sondern fortdauernd abgestofsen. Sobald sie aber einen Leiter von hinlänglicher Gröfse berühren, z. B. auf den mit der Erde verbundenen Tisch zurückfallen, gleichen sie sich mit diesem aus, d. h. gehen auf 0 zurück; sind sie dann noch im Wirkungskreise der Glasröhre, so wird von neuem E. in ihnen hervorgerufen und zunächst dieses, mit demselben aber zugleich werden auch die Körperchen angezogen, und so erfolgt ein fortgesetztes Hin- und Hergehen, wodurch endlich die Glasröhre oder wenigstens eine Stelle derselben wieder in den 0 el. Zustand versetzt wird. Darauf gründen sich die Versuche mit *tanzenden Figuren* von Papier, oder um sie recht recht leicht zu machen, von Goldschlägerhaut, zwischen einer elektrisirten und einer mit der Erde verbundenen Metallplatte, wobei es gewöhnlich nicht bis zur Berührung jener elektrisirten kommt, weil die Puppen wegen ihrer zugespitzten Gestalt ihre entgegengesetzte E. schon aus einiger Entfernung abgeben; ferner der Versuch mit der *Flaumfeder*, die zwischen einer geriebenen Glasröhre und Siegellackstange wie ein Federball hin und her fliegt; mit den *Kork-* oder *Hollundermarkkügelchen*, die auf dem Tische unter einer elektrisirten Glocke auf- und abtanzen, und wenn sie von grofser Anzahl und von hinlänglicher Kleinheit sind, (noch besser Schnitzelchen von Goldpapier) durch ihr Geräusch bei dieser Hin- und Herbewegung den sogenannten *el. Regen* darstellen.

Bemerkenswerth ist bei diesem zuletzt erwähnten el. Spielwerke, dafs wenn die Kügelchen nicht mehr in die Höhe springen, sondern alles ruhig geworden ist, man den Tanz erneuern kann, wenn man die Glocke von aufsen mit der Hand umspannt, und zwar zu wiederholtenmalen, was sich aus den Gesetzen der Ladungsflasche erklärt, mit welcher eine solche Glocke zu vergleichen ist, deren innere Wandung man durch das Ausströmen einer Spitze elektrisirt hat, während man sie von Aufsen mit der Hand umfafst hält.

Aus dem Gesetze der Vertheilung erklären sich auch die Resultate der Versuche und Beobachtungen, welche Heller[1]

---

1 S. Gren's neues Journal der Physik II. 397.

über den Einfluſs des verschiedenen hygrometrischen Zustandes der Luft auf gewisse el. Erscheinungen gemacht hat. Der Apparat zu diesen Versuchen bestand in einem auf einem verticalen Glasfuſse horizontal liegenden isolirten Messingstäbchen, das an beiden Enden mit Knöpfen versehen war. An einem dieser Knöpfe hängen an leinenen Fäden zwei Hollundermarkkügelchen herab. Zur Prüfung der E., mit welcher in den angestellten Versuchen die Hollundermarkkügelchen divergirten, bediente er sich nach der bekannten Weise einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange. Die Feuchtigkeit der Luft maſs er durch ein Federkielhygrometer. Berührte er dann das Messingstäbchen in seiner Mitte mit der geriebenen Glasröhre, so divergirten die Fäden, fielen aber auch kurz darauf wieder zusammen. Als hierauf die Glasröhre von dem Stäbchen entfernt wurde, divergirten die Fäden zum zweitenmale. Diese beiden Divaricationen hingen von entgegengesetzten Elektricitäten ab, die erstere von positiver E., die zweite von negativer. Dieses erklärt sich nach dem Gesetze der Vertheilung so, daſs die Glasstange nach der Mitte, wo sie die Messingstange berührte — E. hinzog, und nach den beiden Enden + E. zurücktrieb, die die Hollundermarkkügelchen an dem einen Ende zur Divergenz brachte, sich aber auch in die Luft zerstreute, weswegen die Kügelchen wieder zusammenfielen, während die negative E. gebunden durch die positive der Glasröhre sich nicht zerstreuen, aber auch nicht an die Glasröhre übergehen konnte, wegen der wenigen Berührungspuncte mit dem Glase und der Hindernisse, die das Glas durch seine nichtleitende Eigenschaft und seine glatte Oberfläche diesem Uebergange entgegensetzte, weswegen dann nach Entfernung der Glasröhre diese negative E. in den freien Zustand überging, und da die + E. der 0, aus dem sie angezogen worden war, sich inzwischen zerstreuet hatte, nicht wieder zu 0 gebunden werden konnte, und eine zweite Divarication der Hollundermarkkügelchen bewirkte. Das Interessante bei diesen Versuchen war nun, daſs es lediglich auf den hygrometrischen Zustand der Luft ankam, ob nur die eine oder beide Divergenzen eintraten, und ob die erste oder die zweite die gröſsere war. Bei sehr trockener Luft, wie sie schon bei 45° seines Hygrometers statt fand, und noch gewisser bei höheren Graden desselben fand keine zweite Divarication statt, sondern nur eine erste, und diese war dauernd und groſs. Dieses

erklärt sich daraus, dafs in diesem Falle in der kurzen Zeit des Versuchs die freigemachte E. sich nicht zerstreuen konnte, und folglich nach Entfernung der Glasröhre oder Siegellackstange seinen inzwischen gebundenen Gegensatz wieder zu 0 ausglich, weswegen die Kügelchen nicht zum zweitenmale aus einander gehen konnten. Bei 40° bis gegen 26° des Hygrometers (also bei zunehmender Feuchtigkeit) wechselten die eine und die zwei Divaricationen ab, letztere wurden immer häufiger, je tiefer der Grad wurde. Endlich bei einer Feuchtigkeit unter 20° war weder die erste noch die zweite Divarication zu sehen, sondern die E. zerstreute sich augenblicklich. In der Epoche der Divaricationen war es angenehm zu bemerken, wie die Gröfse der zweiten Divarication mit der Anzeige des Hygrometers correspondirend war, nämlich wenn die zweite Divarication zu einer Stunde des Tages gröfser als zu einer andern war, so hatte die Feuchtigkeit der Luft zugenommen, und umgekehrt. Durch eine kleine Uebung brachte Heller es dahin, diese Zunahme der Feuchtigkeit blofs aus der Beobachtung der Gröfse der zweiten Divarication mit Gewifsheit vorauszusagen, so dafs dieser so einfache Apparat wenigstens für die Epoche der zwei Divaricationen ihm statt eines Hygrometers diente. Nach der oben zum Grunde gelegten Erklärung ist es begreiflich, dafs, so wie die Feuchtigkeit der Luft zunahm, die Epoche der zwei Divaricationen eintreten mufste, weil nun während des auch ganz kurzen Anhaltens der Glasröhre ein Theil der + E. sich durch die feuchte Luft zerstreuen mufste, und folglich bei Entfernung der Glasröhre die durch dieselbe gebunden gehaltene — E. nicht vollkommen zu 0 gebunden werden konnte, sondern zum Theil zu überwiegend bleiben mufste. Eben so begreiflich ist es, wie die zu einer Zeit verhältnifsmäfsig gröfsere zweite Divarication als zu einer andern Zeit für jene erstere eine gröfsere Feuchtigkeit anzeigen mufste, weil eben darum in der gleichen Zeit sich mehr von der + E. zerstreuen, und also von der gebunden gewesenen — E. ein verhältnifsmäfsig gröfserer Theil als frei auftreten mufste[1].

So einfach die Gesetze der E. sind, so mannigfaltig werden doch ihre Anwendungen durch die fast unzähligen einzelnen Fälle

---

1 Aus dieser Darstellung ergiebt sich, dafs hierbei von einer wenigen Divarication, welche Fischer phys. Wört. VI. 267. hineinbringt, nicht die Rede seyn kann.

die sich daraus erklären lassen. Es ist sehr bequem, sich über Ausdrücke zu vergleichen, mit welchen man das, was in jedem einzelnen Falle vorgeht, verständlich und übereinstimmend bezeichnen könne. Aus diesem Grunde sollen hier die wenigen Fundamentalgesetze der E. in der Sprache angeführt werden, in welcher sich die neueren Physiker über dieselben ausdrücken. Wie weit diese Sprache, diese angenommenen Zeichen, die nur dadurch unzweideutig sind, daſs sie als bloſse Formeln oder Gleichnisse für bestimmte sichere Erfahrungen gelten sollen, richtig gewählt sind, wie weit sie das Wesen der Erscheinungen selbst gehörig darstellen, darüber wird erst weiter unten in der Untersuchung der Ursache dieser Erscheinungen entschieden werden können.

VI. Uebersicht der Gesetze der Elektricität.

Man nenne eines Körpers Elektricität überhaupt E.; im natürlichen Zustande, wo er keine el. Erscheinungen zeigt, ist dieses E = 0, was gleichbedeutend mit *el. Indifferenz* ist.

Da es aber, wie schon oben im Allgemeinen gezeigt worden, zwei verschiedene Elektricitäten giebt, die sich gegen einander wie entgegengesetzte Gröſsen verhalten, oder deren jede für sich ähnliche Wirkungen zeigt, eine aber die andere aufhebt, so nenne man diejenige, welche das geriebene Glas zeigt, und jede andere mit derselben specifisch gleichartige, + E., die ihr entgegengesetzte, welche die geriebene Siegellackstange zeigt, und jede andere mit ihr specifisch gleichartige — E. Man betrachte ferner den natürlichen Zustand der Körper, in welchem sie keine el. Erscheinungen zeigen, als + E — E = 0, d. h. man schreibe jedem Körper, der keine el. Erscheinungen zeigt, eben soviel + E. als — E. zu, die sich beide völlig aufheben, wechselseitig binden und im Gleichgewichte halten. So ist der Zustand eines elektrisirten Körpers nichts anders als *Aufhebung der Gleichheit der beiden E., oder Störung des Gleichgewichts.* Zu dieser Annahme ist man dadurch berechtigt, daſs gleiche Mengen von freiem + E. und — E. gemessen durch das Product der mittleren Spannung in die Oberfläche, an welcher sie sich befinden, mit einander stets 0 geben, und aus dem natürlichen Zustande oder dem 0 E. in allen Fällen, wo E. freithätig wird, beide Elektricitäten zugleich hervortreten, und zwar gerade in dem Verhältnisse um wieder 0 E zu geben.

Gleichartige Elektricitäten stoſsen sich zurück, entgegengesetzte ziehen sich an; die Weite, auf welche sich dieses ringsum erstreckt, macht den Wirkungskreis einer E. aus. Die + E., oder der Theil der + E., der auf Anziehung seines Gegensatzes verwendet, und von diesem nach dem Gesetze der Gegenwirkung wieder angezogen wird, kann natürlich nichts weiter bewirken. Man nennt ihn *gebunden.* Hört das Anziehen auf, so sagt man, er werde frei oder sensibel, er wird nämlich nun fähig nach Auſsen zu wirken, und sich durch anderweitige von ihm abhängige Anziehungs- oder Repulsionserscheinungen zu offenbaren.

Im natürlichen Zustande binden sich beide Elektricitäten des Körpers völlig; durch das Reiben u. dgl. wird das Gleichgewicht gestört. Immer treten hierbei die gegen einander wirkenden Körper in den entgegengesetzten el. Zustand. Es sind dann drei Fälle möglich. Wird z. B. eine Glaskugel durch Reiben mit einem angemessenen Reibzeuge +, dieses — el., so kann dieses entweder daher rühren, daſs das Glas + E. aus dem Reibzeuge, oder dieses — E. aus dem Glase anzieht, oder beide Processe gleichzeitig statt finden. (Auf einen etwa hierbei wirksamen chemischen Proceſs durch die Concurrenz der Luft und die Herkunft der E. aus dieser, nehmen wir hier keine weitere Rücksicht, werden aber weiter unten die Grundlosigkeit einer solchen Annahme nachweisen). Auf welche Weise nun auch das Reibzeug — el. geworden ist, so wird dieser Proceſs sehr bald eine gewisse Grenze haben, weil jeder Körper seiner Natur nach nur ein endlicher Quell von E. seyn kann. Das Reibzeug wird also nur bis auf einen gewissen Punct — E. annehmen, und nur indem seine — E. durch eine leitende Verbindung mit dem Erdboden neue + E. anzieht, wird der Proceſs fortdauernd erhalten werden können, wenn nicht etwa die Körper während des Vorgangs selbst ihre Natur verändern. Fand im obigen Falle ein Uebergang von + E. des Reibzeugs zum Glase statt, so wird dasselbe dadurch von neuem befähigt, + E. abzugeben, fand dagegen ein Uebergang der — E. vom Glase an das Reibzeug statt, so wird dieses aus dem neugebildeten 0 abermals + E. anziehen und an das Reibzeug — E. absetzen können.

Hat ein Körper mehr + als — E., so zieht seine freie + E. innerhalb seines Wirkungskreises alle — E. an, und stöſst alle

+ E. zurück, desto stärker, je näher sie ihm kommt. Bringt man also in diesen Wirkungskreis einen isolirten Leiter, so wird dessen — E. an den näheren Theil gezogen, und gebunden, die + E. hingegen in den entfernteren Theil zurückgestoſsen und frei, weil sie von der — E., von der sie vorher gebunden war, verlassen ist, und von dem Uebergewichte der Repulsivkraft der + E. zurückgestoſsen wird. Diese freie + E. würde herausgehen, oder sich mit — E. sättigen, wenn ihr nicht durch Isolirung der Weg zu beidem abgeschnitten wäre. Wird aber eine leitende Verbindung mit dem Erdboden gemacht, so zieht die + E. soviel — E. an, als erforderlich ist, um wieder 0 zu werden, der Leiter zeigt weiter keine el. Erscheinungen. Hebt man die Verbindung wieder auf, und entfernt ihn aus dem Wirkungskreise der + E., so wird die vorher gebunden gewesene — E. frei oder sensibel, da sie die + E., durch die sie vorher gebunden war, nicht mehr als + E. sondern als 0 vorfindet.

Hat ein Körper mehr — E. als + E., so zieht seine freie — E. alle + E. in seinem Wirkungskreise an, und stöſst alle — E. zurück. Bringt man also einen isolirten Leiter gegen ihn, so erfolgt alles, wie vorher gezeigt ist, nur mit Verwechselung der Zeichen + und —. Man sieht hieraus, daſs das *Gesetz der Wirkungskreise* nichts anderes ist, als das *Gesetz der Anziehung ungleichnamiger und der Zurückstoſsung gleichnamiger Elektricitäten*, und daſs diejenigen, welche zwei el. Materien annehmen, die durch wechselseitige Anziehung auf einander wirken, und das 0 oder den natürlichen Zustand als den Zustand des Gleichgewichts beider Elektricitäten mit einander betrachten, eine ganz falsche Ansicht zum Grunde legen, wenn sie in ihre Erklärungen noch eine besondere Anziehung der Körper selbst zur E. aufnehmen. Von einer solchen Anziehung zeigt sich wenigstens in den gewöhnlichen el. Versuchen durchaus keine Spur, da die elektrisirten Körper in Beziehung auf andere, und diese wieder wechselseitig auf jene sich ganz gleichförmig verhalten, von welcher Beschaffenheit sie übrigens seyn mögen, auch die Masse der Körper hierbei nicht im geringsten in Betracht kommt, auſser insoferne sie als Widerstand gegen die wirkliche Bewegung durch Trägheit und Schwere die Erscheinungen modificirt. Selbst das verschiedene Leitungsvermögen der Körper für E. ändert unmittelbar nichts in der freien Wirksamkeit der an ihnen thä-

tigen E., soferne diese auf das 0, auf + oder — E. anderer Körper wirkt.

Wie in Folge der Anziehung, welche die freie E. auf ihren Gegensatz ausübt, jene selbst wieder gebunden wird, wie bei der freien Communication eines Leiters, auf welchen ein elektrisirter Körper wirkt, mit dem Erdboden jene Bindung zunimmt, wie in Folge dieser Bindung die Capacität der Körper für E. und die Tenacität, womit sie eine gegebene Menge von E. zurückhalten, erhöht wird, ist bereits an mehreren Orten, sowohl in diesem Artikel, als in dem Artikel *Condensator* in seinem nothwendigen Zusammenhange mit dem allgemeinen Gesetze der Anziehung und Zurückstofsung hinlänglich klar gemacht worden.

Nach welchen Gesetzen die Annäherung eines noch in seinem natürlichen Zustande befindlichen, mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden, Körpers, auf die Bindung der freien E. eines elektrisirten Körpers wirke, steht mit der Frage, wie die Wirksamkeit der E. mit der Entfernung, auf welche sie wirkt, abnehme, in der genauesten Verbindung, oder fällt vielmehr ganz damit zusammen. Hat man das Gesetz für die Abnahme der repulsiven Kraft der E. im Verhältnisse der Entfernung bestimmt, so ist auch das gleiche Gesetz für ihre anziehende Kraft ausgemittelt, da beide stets gleichen Schritt mit einander halten. Soferne auf dieser Besitmmung die ganze *Elektrometrie* beruht, so wird es am passendsten seyn, dieses Gesetz dort genauer zu erörtern.

Indem die wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten mit der wechselseitigen Annäherung zunimmt, tritt endlich eine gewisse Weite ein, wo sie stark genug wird, das isolirende Mittel, das beide aus einander hält, z. B. die Luft, zu durchbrechen, und einen wirklichen Uebergang der E. zu veranlassen. Alsdann erfolgt wirkliche *Mittheilung*, wobei der ursprünglich elektrisirte Körper, von welchem der Procefs ausging, stets einen Theil seiner ± E. an den andern abgiebt.

Die Weite, bei welcher dieser Uebergang geschieht, ist bei Spitzen sehr grofs, bei stumpfen oder rund geendeten Körpern kleiner, bei platten Flächen erfolgt oft, selbst im Falle der Berührung, kein Uebergang, wenn auch selbst die eine Fläche dem besten Leiter zugehört. Auch erfolgt bei Spitzen

der Uebergang durch Ausströmen, bei stumpf geendeten Körpern hingegen durch den Ausbruch eines Funkens. Dieser merkwürdige Unterschied des Verhaltens der Körper nach Verschiedenheit der Gestalt ihrer Oberfläche, ihre E. leichter oder schwieriger abzugeben, hängt im Allgemeinen von der Verschiedenheit ab, mit welcher die an der Oberfläche dieser verschiedenen Leiter verbreiteten Elektricitäten in den verschiedenen Puncten derselben durch ihre repulsiven Kräfte auf einander wirken, und durch welche sie sich in dem Uebergange zu den in ihren Wirkungskreisen befindlichen Körpern entweder begünstigen, und für einzelne Puncte eine erhöhte Anhäufung, Drang oder Spannung der E. veranlassen, wodurch der Widerstand der Luft, der eigentlich das Haupthinderniſs ausmacht, leichter überwunden werden kann, oder aber im entgegengesetzten Sinne wirken [1].

Wenn glatte Flächen, deren eine + E., die andere gleichviel — E. hat, in Berührung kommen, ohne daſs ein Uebergang erfolgt, so zeigen sie in diesem Falle gar keine freie E. Trennt man sie aber wieder von einander, so erhalten sie ihre vorigen Elektricitäten wieder. Der Pater Beccaria [2] glaubte, sie legten ihre Elektricitäten an einander ab, und bei der Trennung ergriffe jede Fläche die ihrige wieder. Er gab diesem Gesetze den Namen: der sich selbst wieder herstellenden E. (electricitas vindex, quasi quae sibi vindicat locum suum.) Man hat aber dieses Phänomens wegen nicht nöthig, ein neues Gesetz anzunehmen. Dieses Verschwinden der Elektricitäten ist kein Verlust derselben, kein Ablegen und Wiederergreifen. Es ist nichts weiter als das gewöhnliche Binden entgegengesetzter Elektricitäten, wenn eine in der andern Wirkungskreis kommt, wodurch ihre Intensität geschwächt, und in der unmittelbaren Berührung bei Gleichheit derselben vollkommen aufgehoben wird. Nach der Trennung wird alles wieder sensibel, weil kein Uebergang erfolgt ist. Das Nichterfolgen des Ueberganges hat in den meisten Fällen seinen Grund in der dünnen Luftschicht, die nicht ganz ausgeschlossen werden kann, und unter den aus der Glätte und dem Parallelismus der Oberflächen

1 S. *Spitzen*.

2 Elettricismo artificiale P. II Sect. VI. vergl Exp. atque observ. quibus electricitas Vindex late construitur. Aug. Taur. 1769. 4.

beider Körper für den Uebergang überhaupt entstehenden ungünstigen Umständen bei schwächerer E. einen hinlänglichen Widerstand leistet, weswegen dann auch die wechselseitige Bindung keine vollkommene ist, aber der Rest von freier Spannung kann wegen der noch nicht hinlänglich grofsen Empfindlichkeit unserer Elektroskope nicht erkannt werden.

Die Wirkungen der el. Anziehung und Zurückstofsung oder der el. Atmosphären werden durch *dünne solide Nichtleiter nicht aufgehoben*, wohl aber die Wirkungen der Mittheilung. Wenn daher eine Glastafel auf beiden Seiten mit Metall belegt, die eine Belegung mit der Erde verbunden, und der andern + E. zugeführt wird, so nimmt jene verhältnifsmäfsige — E. aus der Erde an oder giebt + E. an dieselbe ab. Hieraus erklärt sich die *Ladung* [1]. Macht man alsdann zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung, so erfolgt ein Uebergang, der das Gleichgewicht herstellt. Dies ist die Entladung oder der *Leidner Versuch*.

VII. Geschichte der Elektricität.

Die Anziehung leichter Körper ist unter allen übrigen el. Erscheinungen zuerst bemerkt worden. Thales [2] soll sie gekannt, und dem Körper, in welchem dasselbe zuerst erkannt wurde, eine Seele zugeschrieben haben. Theophrast von Eresus [3], 300 J. vor C. G. führt an, dafs nicht blofs der Bernstein, sondern auch der Lynkurer (λυγκούριον) diese Eigenschaft besitze, und dafs letzterer nicht blofs Strohhalme und Holzspähne, sondern auch Metallblättchen an sich reifse. Watson hat den Lynkurer des Theophrat für den Turmalin erklärt, aber mit Unrecht; da die Alten und namentlich Theophrast unter ihrem Lynkurer unsern Hyancith verstanden [4]. Auch Plinius [5] Strabo [6] und Plutarch [7] gedenken dieser anzie-

---

1 S. *Flasche, geladene.*

2 S. den Anfang dieses Artikels.

3 περὶ λίθων c. 53.

4 S. Hills Commentar über Theophrast's Abhandlung von Steinen. Aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen von Baumgärtner, Nürnberg 1770.

5 Hist. Nat. XXXVII. 3.

6 Geograph. L. XV. T. II. c. 100.

7 Sympos. I. 7.

henden Eigenschaft des Bernsteins. Nach einigen sollen auch die el. Eigenschaften des Gagats sehr frühe bekannt geworden seyn. William Gilbert [1] war der erste der seit den Zeiten der Alten etwas Neues hinzufügte. Er vermehrte das Verzeichnifs der Körper, welche el. Erscheinungen zeigen, sehr ansehnlich, brachte vornehmlich das Glas, die meisten Edelsteine, den Schwefel und das Siegellack zu denselben, und zeigte das Reiben als das Mittel an, ihre E. zu erregen. Für ihn fielen indefs die el. Anziehungserscheinungen mit den magnetischen noch in eine Classe zusammen, und es ist charakteristisch, auch für diesen Theil der Geschichte der Wissenschaften, dafs dieselbe Einheit auf ihrer höhern Entwicklungsstufe wieder zurückkehrt, die die Periode ihrer Kindheit bezeichnet. Otto von Guericke [2] stellte Versuche mit einer geriebenen Schwefelkugel an. Er bemerkte, dafs ein von ihr angezogener Körper wieder zurückgestofsen, und nicht eher wieder angezogen ward, als bis er sich einem leinenen Faden oder der Lichtflamme (einem Leiter) genähert hatte, dafs Fäden, die in der Nähe der Schwefel-Kugel hingen von seinem nahe daran gehaltenen Finger zurückgestofsen wurden, und dafs eine von der Kugel zurückgestofsene Flaumfeder der Kugel beständig einerlei Seite zukehrte; Erscheinungen, welche nachher auf die Gesetze des Anziehens und der Wirkungskreise geführt haben. Er bemerkte auch das el. Licht und das Geräusch desselben. Boyle vermehrte um das Jahr 1670 das Verzeichnifs der el. Körper mit einigen neuen, fand, dafs Trockenheit und Wärme der E. günstig seyen, dafs auch leichte el. Körper z. B. Bernsteinpulver angezogen würden, dafs das Anziehen wechselseitig sey, dafs der geriebene Diamant im Finstern leuchte, und dafs man auch im luftleeren Raume E. erwecken könne. Er erklärte übrigens die el. Erscheinungen durch klebrige Ausflüsse. Auch Newton [3] machte einige el. Vesuche. Er rieb eine Glasplatte, die auf einem messingenen Ringe auf dem Tische ruhete, ohne den Tisch zu berühren, auf ihrer oberen Fläche, und sah darunter liegende Papierchen gegen die untere Seite hüpfen. Diefs ist wohl das erste Beispiel von einer Ladung. Er ward auch gewahr, dafs die Wahl des Reib-

1 de Magnete London 1600. fol.

2 Experim. Magdeburg. de vacuo spatio, Amsterd. 1672 fol. L. IV. c. 15.

3 Philos. Transact. 1675.

zeugs nicht gleichgültig sey, weil der Versuch besser gelang, wenn er mit seinem Rocke (Wollenzeug) als wenn er mit einer Serviette rieb. Er erwähnt auch der E. in seinen, der Optik beigefügten Fragen. Dr. Wall [1] bemerkte zuerst el. Funken. Er hatte eine Hypothese über den Phosphor, die ihn auf die Vermuthung leitete, daſs Bernstein ein natürlicher Phosphor seyn dürfte. Er rieb also Bernstein mit der Hand oder mit wollenen Lappen, sah dabei ein starkes Licht und hörte ein Knistern. Hielt man den Finger gegen den Bernstein, so fuhr ein heller Funken gegen denselben. Er bemerkte auch Licht beim Reiben des Siegellacks und Diamants, und zog daraus den Satz, daſs alle geriebene el. Körper leuchteten. Es ist merkwürdig, daſs er schon bei dieser ersten Entdeckung des Funkens und Knisterns diese Erscheinungen mit dem Blitze und Donner verglichen hat. Dies sind die geringen und langsamen Fortschritte der el. Versuche bis zum Jahre 1709. In diesem Jahre machte Hawksbee [2] seine Versuche und Entdkkungen bekannt. Er machte zuerst aufmerksam auf die groſse el. Kraft des Glases, welchem man seitdem den Vorzug vor allen übrigen el. Körpern beigelegt hat. Er beobachtete die Erscheinungen des el. Lichtes, besonders im luftleeren Raume, genauer, erfand die Quecksilberphosphore, bemerkte das Geräusch des el. Ausströmens, und das Gefühl von Spinnewebe, das sich bei starker E. äuſsert, stellte auch Versuche mit Siegellack, Schwefel, und Harzkuchen an, ob er gleich darin irrte, daſs er die E. derselben mit der des Glases für einerlei hielt. Er hat sich auch zuerst einer Maschine zur Umdrehung der Glaskugel bedient, obwohl nach ihm noch einige Zeit nur Röhren gebraucht, und die Elektrisirmaschinen erst später eingeführt worden sind.

Zu jener Zeit beschäftigten Newton's groſse Entdeckungen die Physiker mit andern Gegenständen, und veranlaſsten in den el. Untersuchungen einen zwanzigjährigen Stillstand, bis Stephan Gray vom Jahr 1728 bis 1731 dieselben auf's Neue mit wichtigen Zusätzen bereicherte. Dieser um die Lehre von der E. sehr verdiente Engländer entdeckte die Mittheilung, fand daſs hänfene Schnüre sie zulieſsen, seidene oder härene aber

---

1 Philos. Transact. 1708. Vol. XXVI, No. 314.

2 Physico - mechanical experiments. London 4.

hidenrten, und wurde durch einen Zufall auf die Entdeckung des für die Ausbildung der Elektricitätslehre so wichtigen Unterschiedes zwischen Leitern und Zerstreuern der E. und Nichtleitern oder Isolatoren geführt. Als Gray nämlich im Jahre 1729 seinem Freunde Wheeler, seinem Gehülfen bei den meisten seiner Versuche, die Entdeckung mittheilte, wie durch hänfene Schnüre, welche an die Glasröhren befestigt waren, beim Reiben derselben dis E. an elfenbeinernen Kugeln, die an diesen Schnüren hingen, selbst bei grofser Länge derselben, wenn sie frei durch die Luft herabhingen, mitgetheilt werden könne, war Wheeler begierig, zu untersuchen, ob nicht etwa die el. Kraft auf eine grofse Distanz auch horizontal fortgeleitet werden könne. Gray hatte diesen Versuch bereits vergeblich angestellt, weil er sich zur Unterstützung der Schnur, welche die elfenbeinerne Kugel mit der geriebenen Glasröhre in Verbindung setzte, eines Bindfadens bedient hatte. Wheeler schlug einen seidenem Faden vor, von dem auch Gray in Ansehung seiner Dünne einen bessern Erfolg erwartete. Der Versuch gelang auch über alle Erwartung. Er wurde den 2ten Juli 1729 angestellt. Ohngefähr 4 Fufs von dem Ende der mit Matten belegten Gallerie zogen sie eine Schnur quer über den Platz hinweg, der mittlere Theil der Schnur war Seide, das übrige Bindfaden, dann legten sie die Schnur, woran die elfenbeinerne Kugel hing, und durch welche die el. Kraft zu derselben von der Glasröhre geleitet werden sollte, und welche 80½ Fufs lang war, quer über die seidene Schnur, so dafs die Kugel ungefähr 9 Fufs unter derselben hing. Beim Reiben der Glasröhre zog nun die elfenbeinerne Kugel leichte Körperchen aus der Ferne an. Indem sie die Versuche in Rücksicht auf Verlängerung der die E. mittheilenden Schnur noch weiter treiben wollten, brach der feine seidene Faden. Sie substituirten ihm nun einen nicht weniger dünnen Messingdraht. Aber nun blieb aller Erfolg aus. Sie hatten damit die Ueberzeugung gewonnen, dafs es nicht von der Dünne abhänge, warum der seidene Faden die E. nicht wie der dickere Bindfaden zerstreut habe, da der Metalldraht trotz seiner Feinheit dies noch in höherem Grade that, als selbst der dickere Bindfaden, sondern dafs hierbei die eigenthümliche Natur der Körper in Betracht komme. Wir haben absichtlich diesen Versuch umständlicher erzählt, weil er einen neuen Beleg giebt, wie so oft an wich-

tigen Entdeckungen ein glücklicher Zufall einen wesentlichen Antheil hat, wie er aber auch diesen Antheil nur dadurch erhält, daſs der Scharfsinn des Experimentators ihn zu benutzen und mit seinen Forschungen zu verknüpfen weiſs. Gray machte auch die ersten Versuche, Wasser, ingleichen Menschen und Thiere durch Mittheilung zu elektrisiren. Da er hierbei die Personen in seidene Schnüre hing, und sah, daſs sie den Metallen ziemlich starke Funken gaben, so kam er darauf, metallene Cylinder in seidene Schnüre zu hängen, und die Funken von Personen herausziehen zu lassen, welches der erste Ursprung des Hauptleiters oder ersten Leiters bei den Elektrisirmaschinen gewesen ist. Er bemerkte zuerst das freiwillige Ausströmen der Feuerbüschel aus leitenden Spitzen, wenn ihnen die flache Hand genähert ward, ingleichen, daſs selbst aus dem Wasser Funken hervorbrachen.

Dieser Versuch brachte auch bei ihm im Jahre 1734 den Gedanken hervor, daſs „*die el. Kraft*, si magnis licet comparare parva, *mit der Natur des Donners und Blitzes von gleicher Natur zu seyn scheine.*“ Bei einem ähnlichen Versuche im folgenden Jahre hat er, wie Beckmann [1] bemerkt, schon die el. Erschütterung gefühlt, ohne jedoch weiter darüber nachzudenken.

Grays Versuche wurden in Frankreich von Dü Fay [2] sorgfältig wiederholt, und mit neuen vermehrt. Dieser Naturforscher trieb die Wirkungen der Mittheilung viel weiter, und bestimmte sie genauer. Er zog noch eher als Gray selbst, Funken aus dem menschlichen Körper, da jener damals erst so weit genommen war, Metallblättchen durch denselben anziehen zu lassen. Nollet, welcher bei diesen Versuchen gegenwärtig war, kann die Bestürzung nicht stark genug schildern, die sowohl ihm als Dü Fay bei den ersten el. Funken, die aus dem Körper dieses Letzteren gezogen wurden, ergriff [3]. Dü Fay entdeckte, was unstreitig einer der gröſsten Schritte in der Elektricitätslehre war, den Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten, die er Glas- und Harz-E. nannte, nebst dem Gesetze ihrer wechselseitigen Anziehung, irrte aber darin, daſs

1 Geschichte der Erfindungen I. Band. Leipzig 1783. 8.
2 Mémoires de Paris 1733—37.
3 Leçons de physique, Tome VI. p. 408.

er sie nicht für entgegengesetzt, sondern nur für verschieden hielt. Dr. DESAGULIER [1] dessen Dissertation sur l'électricité des Corps im Jahre 1742 bei der Akademie zu Bourdeaux den Preis erhielt, brachte die bisher angestellten Versuche auf allgemeine Gesetze, und führte zuerst den Namen, „an sich el. Körper“ und Leiter ein.

Um diese Zeit fingen die deutschen Gelehrten an, sich durch wichtige Entdeckungen in diesem Fache auszuzeichnen. HAUSEN in Leipzig machte hierzu den Anfang, und führte statt der bisher gewöhnlichen Glasröhren, die durch eine Maschine umgedrehte Kugel ein. BOSE in Wittenberg, WINKLER in Leipzig und der P. GORDON in Erfurt gelangten auf diesem Wege zu sehr verstärkten Graden der E. und zu vielen neuen Erfindungen. Dr. LUDOLF in Berlin entzündete zuerst im Jahre 1744 Vitrioläther durch den el. Funken, WINKLER erwärmten Branntwein durch den Funken aus seinem Finger, GRALATH in Danzig den Rauch eines eben erloschenen Lichtes, und BOSE den Dampf von schmelzendem Schiefspulver. Der jüngere LUDOLF in Berlin bewies, dafs das Leuchten der Barometer in der That el. sey, GRUMMERT bemerkte das Leuchten luftleerer Glasröhren in ziemlicher Entfernung von der in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine, KRÜGER die Veränderung der Farbe der Blumen durch el. Ausströmen und WAITZ [2] machte einen schönen Versuch, die el. Erscheinungen zu ordnen, und auf allgemeine Gesetze zu bringen. MILIS in England bemerkte 1745 zuerst die freiwillig ausströmenden Feuerbüschel aus der geriebenen Glasröhre selbst, und Dr. WATSON, durch dessen Briefwechsel mit den Deutschen die Entdeckungen derselben nach England kamen, wiederholte ihre Versuche, entzündete brennbare Geister, wenn sie von einer isolirten elektrisirten Person gehalten wurden, und eine nicht elektrisirte Person den Funken dagegen brachte, und entdeckte, dafs Rauch und Flamme Leiter sind.

Durch so viele neue und zum Theil belustigende Versuche war schon eine allgemeinere Aufmerksamkeit auf die E. erregt, als am Ende des Jahres 1745 der KLEIST'sche Versuch oder die Leidner Flasche bekannt wurde, deren unerwartete und hef-

1 Philos. Trans. 1739—1742.

2 Abhandl. von der E. und deren Ursachen. Berlin. 1745. 4.

tige Wirkungen jedermann in Erstaunen setzten[1]. Diese grofse Wirkung der E. machte das Studium derselben allgemein, und führte zu den Wohnungen der Experimentatoren eine Menge von neugierigen Zuschauern. Seit dieser Zeit ist die Anzahl von Kennern und Liebhabern der E., und der Versuche und Beobachtungen über dieselbe mit jedem Tage gewachsen, so dafs es die Grenzen des Artikels weit überschreiten würde, wenn die vielen Entdeckungen einzeln aufgezählt werden sollten und wir uns daher nur auf die wichtigsten Momente einschränken können. Dr. WATSON entdeckte bald hernach, dafs beim Isoliren des Reibzeugs der Elektrisirmaschine nur schwache E. zum Vorschein komme, und schlofs, dafs das Reiben nicht E. erzeuge, sondern nur überführe. Der Abt NOLLET beobachtete um diese Zeit, dafs Körper im el. Wirkungskreise ebenfalls el. Erscheinungen zeigten, ohne jedoch zu bemerken, dafs ihre E. die entgegengesetzte von jener sey, wie er denn überhaupt die Verschiedenheit der + E und — E fast ganz übersehen hat. Von ihm rühren auch die ersten Versuche über den Einflufs der mitgetheilten E. auf den Umlauf des Bluts im thierischen Körper, auf die Ausdünstung und das Durchströmen des Wassers durch Haarröhrchen her.

Keiner der damaligen Naturforscher aber verfolgte diese Untersuchungen mit so vielem Scharfsinne und philosophischen Geiste, als Dr. FRANKLIN in Philadelphia. Ihm gelang es, die mannigfaltigen, damals schon bekannten Wirkungen der E., vorzüglich aber den vorher unerklärbaren Leidner Versuch auf eine Theorie zurückzuführen, die mit allgemeinem Beifall aufgenommen ward, und, wenn sie auch gegenwärtig ihr ehemaliges Ansehen nicht mehr behauptet, dennoch auch jetzt noch der sorgfältigsten Prüfung werth ist, und stets als ein Denkmal einer seltenen geistigen Verknüpfungsgabe in ihrem Erfinder anerkannt werden wird. Was aber für das menschliche Geschlecht von wichtigeren Folgen geworden ist, es gelang FRANKLIN aus seinen Erfahrungen die Erklärung des Blitzes und die wohlthätige Erfindung der Blitzableiter zu ziehen, die ihm in der Geschichte der Physik einen unsterblichen Ruhm sichert. Seine hierher gehörigen Entdeckungen und Bemühungen sind bereits unter dem Artikel: *Blitz*, *Blitzableiter*, *Dra-*

---

1 Vergl. *Flasche*.

che, elektrischer, näher gewürdigt worden. Von seiner Theorie der E. wird weiter unten ausführlicher die Rede seyn.

Unter Franklin's Behauptungen gehört auch die von der Undurchdringlichkeit des Glases für die von ihm angenommene el. Materie. Sein Freund Kinnersley in Boston fand, daſs die Glas- und Harzelektricität des du Fay mit Franklin's positiver und negativer E. übereinkomme. Gewisse, jedoch zweideutige Phänomene bestimmten Franklin die Glaselektricität für die positive oder den relativen Ueberfluſs, die Harzelektricität für die negative oder den relativen Mangel zu erklären. Ubrigens fallen diese wichtigen Entdeckungen der nordamerikanischen Naturforscher in die Jahre 1747 bis 1754 [1]. Canton in England und Beccaria in Italien entdeckten um eben diese Zeit, daſs sich die E. der Luft mittheilen lasse. Der erstere fand auch, daſs ihr das Wasser einigen Widerstand leiste, und zeigte den el. Funken unter Wasser, welche Versuche lehrten, daſs es weder vollkommen oder absolut el. Körper noch vollkommene Leiter gäbe, soferne namentlich das Wasser früher als ein solcher angesehen worden war. Canton zeigte auch im Jahre 1753, daſs es bloſs von der Glätte der Oberfläche und vom Reibzeuge abhänge, das Glas und andere el. Körper entweder positiv oder negativ zu elektrisiren, welche Versuche nachher von Beccaria, Wilson, Bergmann, Wilke, Aepinus u. a. [2] noch weiter getrieben wurden.

Eine der gröſsten Entdeckungen dieser Zeit ist die von den el. Wirkungskreisen. Canton machte seine Versuche hierüber im Jahre 1753 zuerst bekannt, welche nach Priestley's Ausdrucke einer Zauberei ähnlich sehen; Franklin setzte dieselben fort, behielt aber immer noch die gemeine Meinung bei, daſs die Wirkungskreise aus el. Materie beständen, und gleichartige E. mittheilten; daher es ihm unmöglich war, die Phänomene ungezwungen zu erklären. Wilke löste endlich das Räthsel auf und gab zuerst [3] das wahre Gesetz der Wirkungskreise an, welches Aepinus durch neue Versuche noch mehr

---

1 Franklin's new exper. and observ. on electricity in several letters to Mr. Collinson. London 1757. 4. Benj. Franklin's Briefe von der E. übers. von J. C Wilke, Leipzig 1758.

2 S. oben die hierher gehörige Literatur.

3 De electricitatibus contrariis. Rostockii 1757. 4.

bestätigte. Beide befanden sich damals in Berlin, setzten diese Untersuchungen gemeinschaftlich fort, erklärten die Ladung der Flaschen u. s. w. noch deutlicher, erfanden die Ladung einer Luftschicht oder den unter dem Artikel „Blitz“ angeführten Versuch mit zwei Metallplatten, und legten den Grund zu den neuern Erweiterungen der Lehre von der E. und besonders von der Vertheilung derselben, welche mehrentheils nur auf deutlichere Entwickelung der in ihren Schriften schon enthaltenen Erfindungen hinauslaufen [1]. ROBERT SYMMER's sehr merkwürdige Versuche über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe vom Jahre 1759, welche CIGNA weiter fortgesetzt hat, leiteten auf die Vermuthung zweier el. Materien, die den Forschungen in der Elektricitätslehre gleichsam eine neue Richtung gab, und besonders viele Versuche veranlafste, um der einen oder andern Einsicht, in welche sich von nun an die Physiker theilten, derjenigen der UNITARIER oder DUALISTEN der Franklin'schen oder Symmer'schen Theorie den Sieg zu verschaffen, durch welche Versuche die Elektricitätslehre mannigfaltig bereichert worden ist.

VOLTA, den man den zweiten FRANKLIN in der Elektricitätslehre nennen kann, und der ein treuer Anhänger des Systems seines grofsen Vorgängers auf dieser Bahn blieb, erwarb sich besonders grofse Verdienste durch die sinnreiche Anwendung der Lehre von den el. Wirkungskreisen, welche er ganz im Franklin'schen Geiste gegen das durch BECCARIA eingeführte neue Gesetz der sich selbst wiederherstellenden E. erklärte, und dieser Anwendung verdankte die Elektricitätslehre die Bereicherung mit zwei sehr interessanten Instrumenten, dem Elektrophor im Jahre 1775 und dem Condensator im Jahre 1783. Indefs fehlte es noch immer an genauen messenden Versuchen, welche es allein möglich machen, die Gesetze einer physischen Kraft mit mathematischer Strenge zu entwickeln. Diese Versuche und eine Reihe höchst wichtiger Folgerungen daraus verdankt diese Lehre vorzüglich dem in mikrometrischen Versuchen wahrhaft grofsen französischen Naturforscher COULOMB der uns dadurch in Stand setzte, die el. Erscheinungen, soferne sie zunächst nur als Wirkungen repulsiver und anziehender Kräfte, die überall nach Gleichgewicht streben, und deren

---

1 S. *Wirkungskreise, el.*

Wirksamkeit in einem bestimmten Verhältnisse der Distanzen abnimmt, in Betracht gezogen werden, dem feinsten mathematischen Calcüle zu unterwerfen, welches seitdem von einzelnen Physikern, namentlich von Biot und Poisson mit glücklichem Erfolge geschehen ist [1]. Bei den grofsen Fortschritten, welchen die Chemie in diesem Zeitpuncte machte, konnte es nicht fehlen, dafs die E., die in dem chemischen Processe selbst eine so grofse Rolle spielt, von einer neuen Seite das Studium und den Forschungsgeist der Physiker auf sich ziehen mufste, nämlich von der Seite ihres innern Wesens, welches durch Betrachtung eben dieser Kraft als blofser Ursache von Bewegungen (Anziehungen und Zurückstofsungen) lange nicht erschöpft werden konnte, und auf welchem ihre specifischen oder qualitativen Beziehungen in der Natur beruhen. Van Marum hatte bereits durch Hülfe der grofsen Teyler'schen Elektrisirmaschine und seiner grofsen Batterieen eine grofse Reihe von Versuchen angestellt, durch welche ein helleres Licht über die chemischen Wirkungen der E. verbreitet wurde [2]; doch wird eigentlich erst durch die gröfste Entdeckung neuerer Zeiten auf dem Gebiete der Physik, durch die Entdeckung des *Galvanismus*, und insbesondere durch den grofsen Schritt, welchen Volta am Ende des Jahres 1799 in dieser Lehre machte [3], in dieser Hinsicht die Bahn gebrochen. Die chemischen Verhältnisse der E. beschäftigten von nun an am meisten die Physiker; mit ihrer tiefern Kenntnifs gestaltete sich eine ganz neue chemische Theorie, die sogenannte Elektrochemie, für welche von H. Davy die wichtigsten Entdeckungen gemacht, und die vorzüglich von J. Berzelius und von Schweigger unter dem Namen der *Krystallelektricität* ausgebildet wurde. Zu allen diesen wichtigen Untersuchungen und Entdeckungen kam noch als folgenreich die glänzende Entdeckung Oersted's in Kopenhagen über die Erregung des Magnetismus durch den galvanisch el. Strom im Jahre 1820 hinzu, wodurch die E. immer mehr

---

1 S. des ersteren Traité de Physique mathématique et experimentale Tome II. Livre III. De l'Electricité p. 209 ff.

2 vorzüglich in dem Eerste Vervolg Proefneemingen gedaan met Teylers Electrizeermachine. Haarlem 1787. 4. deutsch. Leipzig 1788 4. und im Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795. 4.

3 S. *Galvanismus*.

als die geheime Triebfeder der Processe erschien, durch welche die steten Metamorphosen in der Natur unterhalten werden.

So ausgedehnt nach dieser kurzen historischen Darstellung das Gebiet unserer Erfahrungen und Kenntnisse in der Elektricitätslehre erscheinen mag, so müssen wir doch gestehen, dafs wir noch lange nicht tief genug in das Innere dieser Kraft eingedrungen sind, wie am deutlichsten die gleich folgende Aufzählung der mannigfaltigen Hypothesen über die Natur der E. darthun wird, von denen zwar die meisten veraltet sind, aber doch noch mehrere wesentlich von einander abweichend sich einander gegenüber stehen, ohne dafs irgend eine derselben bis jetzt die hierbei vorkommenden Probleme genügend zu lösen im Stande wäre. Man kann auch hier anwenden, was für andere Sphären der Wissenschaft gilt, dafs die Wurzel um so tiefer geht, und um so verborgener wird, je mehr sich der Stamm einer Wissenschaft in Aesten und Zweigen ausbreitet[1].

VIII. Hypothesen über die Ursache der Elektricität oder Theorien dieser Erscheinungen.

Die ersten Experimentatoren, welche noch keine andere el. Erscheinungen, als das Anziehen und Zurückstofsen kannten, erklärten dasselbe durch ölichte oder klebrige Ausflüsse, welche aus den geriebenen Körpern ausgehen und in dieselben wieder zurückkehren sollten. Sie glaubten, diese Ausflüsse hingen sich an alle Körper, und rissen die leichten und beweglichen mit sich fort, die, wenn sie den geriebenen Körper berührt hätten, durch neue Ausflüsse zurückgestofsen würden. Diese Meinung hat Gilbert und Kenelm Digby [2]. Auch Boyle hat sie angenommen. Dafs man sich diese Ausflüsse um den Körper herum in Gestalt eines Dunstkreises versammelt dachte, hat unstreitig zu der Benennung der el. Atmosphäre Anlafs gegeben. Newton scheint die E. als eine Art der Anziehung betrachtet zu haben, die auf eine ähnliche Art, wie die Schwere bewirkt werde. Wenigstens stellt er in seinen der Optik beige-

1 Rücksichtlich der neuen Entdeckungen s. d. Artikel: *Elektrisirmaschine; Elektrometer; Galvanismus; Flasche, geladene; Krystall-Elektricität; Luft-Elektricität; Säule, Voltaische.*

2 Demonstratio immortalitatis animae 1664. 8. T. I. cap. 16.

fügten Fragen mehrmals *Attractiones gravitatis, virtutesque magneticae et electricae* zusammen. Das heifst bei ihm zwar nichts weiter, als dafs er die Schwere sowohl als die el. Kraft wie blofse Phänomene betrachte und die Ursache von beiden nicht wisse. Aber seine Schüler glaubten das Phänomen erklärt zu haben, wenn sie es von einer den Körpern wesentlichen besondern Art der Anziehung und Zurückstofsung herleiteten. Dū Fay erklärte das Anziehen und Zurückstofsen aus gewissen, die el. Körper umringenden Wirbeln, dergleichen schon Cabeus [1] angenommen hatte. Allein obgleich Dū Fay die beiden von ihm entdeckten Elektricitäten für zwei verschiedene annimmt, die sich unter einander selbst anziehen, so erklärt er sich doch nirgends darüber, wie er sich den Unterschied zwischen den Wirbeln derselben und die Ursache ihrer Anziehung vorstelle. Die Erscheinungen des ausströmenden Lichts, das Blasen, das man dabei fühlt, des el. Funkens und des phosphorischen Geruchs, fingen an die Physiker auf die Vermuthung einer eigenen el. Materie zu führen, welche einige für einen ganz eigenen Grundstoff, andere für das Elementarfeuer, noch andere für den Aether oder die Materie des Lichts, manche auch wie Boulanger [2] für die feineren Theile der Atmosphäre ansahen, welche sich beim Reiben nach Wegnahme der gröberen Theile auf den Oberflächen der Körper anhäuften. Man glaubte, diese Materie habe ihren Sitz vorzüglich in den elektrischen Körpern, werde durch das Reiben losgemacht und in Thätigkeit gesetzt, und fahre aus den geriebenen Körpern in die daran gebrachten Leiter über.

Die merkwürdigste der damaligen Theorien ist Nollet's Hypothese der gleichzeitigen *Aus- und Zuflüsse.* Effluences et affluences simultanées). Dieser geschickte Experimentator bewiefs zuerst aus den oben angeführten Phänomenen das Daseyn einer el. Materie, die weit feiner als die Luft sey, auch sich nicht in Wirbeln, sondern in geraden Linien bewege, und Atmosphären um elektrisirte Körper bilde. Diese Materie strömt nach seiner Meinung aus dem el. Körper aus, zu gleicher Zeit strömt eben soviel davon aus den benachbarten Körpern, ja selbst aus der an

1 Philosophia magnetica, Ferrara 1629. Fol.

2 Traité de la cause et des phén. de l'él. Paris 1750. 8.

liegenden Luft in den Körper hinein. Bei starker E. entzünden sich diese Ströme durch den Stoſs ihrer Strahlen und werden leuchtend. Die Zwischenräume, aus welchen die Materie ausgeht, sind nicht so zahlreich als die, wodurch sie eingeht. Die ausströmende Materie bildet Büschel von divergirenden Strahlen, welche, wenn sie auch in einiger Distanz nicht mehr sichtbar sind, dennoch immer weiter fortgehen. Diese Materie durchdringt die Leiter sehr leicht, die Nichtleiter schwer oder gar nicht, wenn sie nicht gerieben oder erwärmt werden. Sie ist überall verbreitet, und wahrscheinlich einerlei mit dem Elementarfeuer, nur daſs sie sich bisweilen mit einigen feineren Theilen der Körper verbindet. Aus diesen Sätzen erklärt Nollet das Anziehen und Zurückstoſsen leichter Körper auf folgende Art. Die Ausflüsse geschehen aus wenigen Puncten, und büschelförmig, die Zuflüsse nach allen Puncten. Ein leichter kleiner Körper wird also in einiger Distanz von den zuflieſsenden Strömen ergriffen, und stärker fortgeführt, als ihn die durch Divergenz geschwächten Ströme der Ausflüsse wegtreiben. So fliegt er bis an den elektrisirten Körper, wo die ausflieſsenden Büschel näher beisammen sind, und ihn also zurückstoſsen. Während dieser Zeit wird er selbst durch Mittheilung elektrisirt, d. h. es entsteht Ausfluſs aus seinen eigenen Poren und Einströmen in dieselben. Unter diesen Umständen kann er nicht wieder angezogen werden, weil seine Ausflüsse den Ausflüssen des andern Körpers entgegengesetzt sind. Verliert er aber seine E. durch die Berührung mit andern Körpern, so kehrt er wieder in seinen anfänglichen Zustand zurück, und wird aufs Neue angezogen. Einen augenscheinlichen Beleg zweier solcher Ströme, die sich einander begegnen, schienen besonders die Erscheinungen, die man beim Puppentanze bisweilen beobachtet, zu geben, wo die tanzenden Puppen nur bis zu einer gewissen Nähe gegen die elektrisirte Metallscheibe hinschweben, und dann gleichsam durch den entgegen kommenden Strom wieder zurückgeworfen werden. Indeſs findet auch diese Erscheinung ihre genügende Erklärung in dem Umstande, daſs diese Puppen vermöge der Spitzenwirkung schon vor der unmittelbaren Berührung und in merklicher Entferuung in den gleichartigen el. Zustande mit der Scheibe versetzt, und nach dem allgemeinen Gesetze der Repulsion, welche gleichartige Elektricitäten auf einander ausüben, zurückgestoſsen werden müssen. Zwischen den beiden ver-

schiedenen Elektricitäten des Glases und des Harzes, scheint Nollet weiter keinen Unterschied anzunehmen, als daſs jene stärker, diese schwächer sey.

Die unerwartete Entdeckung des Leidner Versuchs legte den Physikern der damaligen Zeit ein unerklärbares Räthsel vor. Nollet versuchte seine Hypothes darauf anzuwenden, ohne jedoch gehörige Rücksicht auf die verschiedenen Elektricitäten der beiden Seiten des Glases zu nehmen. So hatte er nicht einmal den richtigen Begriff der Ladung der Flasche, die er überhaupt nur für Ueberfüllung mit el. Materie annahm. Die Erschütterung beim Entladen erklärte er durch das Zusammenstoſsen zweier el. Ströme, deren einer aus der innern, der andere aus des äuſsern Seite der Flasche komme, die sich im Körper der entladenen Person begegneten, und dadurch die in ihr enthalten el. Materie erschütterten. Ganz wider die Erfahrung nahm er an, man könne auch isolirte Flaschen laden; denn seine Hypothese enthält keinen Grund, warum dieses unmöglich seyn sollte. Eben so leugnet er beim Entladen die Nothwendigkeit der Verbindung beider Seiten, und meint, man dürfe nur die äuſsere Seite mit dem Conductor der Maschine verbinden, gerade als ob dieses nicht auch eine Verbindung beider Seiten wäre. In seinen Versuchen nämlich ist der Conductor mit der innern Seite durch ein Vacuum verbunden, welches so gut als ein Leiter ist.

Sogleich nach dem Leidner Versuche ward auch Dr. Watson's Entdeckung bekannt, daſs der geriebene Körper die E. nicht aus sich selbst hervorbringe, sondern aus dem Reibzeuge sammle. Dies änderte die bisherigen Vorstellungen der Physiker von der Erregung der E. und brachte schon Watson selbst auf den Begriff von plus und minus E. oder davon, daſs die den Funken ziehende Person aus der Kugel eben das erhalte, was ihr das Reibzeug gegeben habe, daher vor dem Ziehen des Funkens die Kugel mehr E., das Reibzeug weniger, als sonst, müsse gehabt haben. Watson hat seine Abhandlung hierüber[1] schon im Anfange des Jahres 1747 eingereicht. Franklin hatte inzwischen eben dasselbe bemerkt. Wenn zwei Personen auf Wachs standen, deren eine die Röhre rieb, die andere den Funken darauszog, so waren beide elektrisirt, und gaben

1 Philos. Transact. Vol. XLIV. XLV.

sich unter einander selbst einen stärkeren Funken, als wenn jede von einer dritten berührt wurde. Er schloss daraus, dass eine von beiden das hergebe, was die andere erhalte, und dass also vor dem hergestellten Gleichgewichte die eine mehr, die andere weniger gehabt habe. Dies gab ihm Anlass, die E. der einen die *positive*, der andern die *negative* zu nennen, und zur Erklärung der el. Erscheinungen überhaupt folgende Sätze anzunehmen.

1. Durch die ganze Körperwelt ist eine einzige feine Materie verbreitet, welche den Grund aller el. Erscheinungen enthält.

2. die Theile dieser Materie stossen sich ab, werden aber von den Theilen der Körper angezogen.

3. Jeder Theil eines Körpers kann eine gewisse Menge dieser Materie in sich nehmen, ohne dass sie sich an seiner Oberfläche anhäufen darf; hat er gerade diese Menge, so ist er nicht elektrisirt, oder in seinem natürlichen Zustande.

4. Hat er mehr, als diese ihm natürliche Menge, so ist er positiv; hat er weniger, so ist er negativ elektrisirt.

5. Alle el. Erscheinungen entstehen durch einen Uebergang, in welchem sich der relative Ueberfluss mit dem relativen Mangel ausgleicht, oder durch proportionirte Vertheilung dieser Materie. Hieraus erklären sich nun zuerst das Anziehen und Zurückstossen. Sind zwei Körper beide positiv, so werden sich ihre el. Materien stärker zurückstossen, als eine jede von ihnen von den Theilen des andern Körpers angezogen wird; daher scheinen sich die Körper zu fliehen. Ist der eine positiv, der andere negativ, so wird der Ueberfluss des positiven von den Theilen des andern stärker angezogen, als er die wenige el. Materie desselben abstossen kann, daher gehen die Körper zusammen. Sind beide negativ, so stossen die Theile der in der Luft befindlichen el. Materie sich selbst stärker zurück, und werden von den Theilen der Körper stärker angezogen, als von ihrer zu wenigen el. Materie abgestossen, daher dringt die so leicht bewegliche Luft dazwischen, und die Körper fliehen von einander.

So folgt aus Franklin's Sätzen das Gesetz des Anziehens und Zurückstossens, und also auch das Gesetz der Wirkungskreise, welches, wie oben gezeigt worden, mit jenem ganz einerlei ist. Kommt ein Körper, der im natürlichen Zustande sich befindet,

in den Wirkungskreis eines positiv el., so treibt der Ueberfluſs der E. des Letzteren die relativ geringere Menge des natürlichen Antheils stärker zurück, als dieser von den Theilen des Körpers festgehalten wird, und zieht diesen Letzteren, und somit den Körper selbst an, so wie auch er selbst seinerseits angezogen wird, gerade so, wie ein positiv und negativ elektrisirter Körper einander anziehen. Kommt dagegen ein im natürlichen Zustande befindlicher Körper in den Wirkungskreis eines negativ elektrisirten, so häuft sich der natürliche Antheil nach der Seite hin an, wo weniger zurückstoſsende Kraft wegen des relativen Mangels von E. in dem negativ el. ihm entgegenwirkt, es entsteht Ueberfluſs, oder diese Seite wird positiv, und Anziehung tritt wieder auf dieselbe Weise ein, wie zwischen einem positiv und negativ elektrisirten. Zwar sind diese Erklärungen nicht Franklin's selbst, der sich von den Atmosphären damals noch den Begriff machte, daſs sie aus der um den Körper umherschwebenden el. Materie beständen. Erst Wilke und Aepinus haben die Wirkungskreise besser kennen gelehrt, und dadurch selbst im Franklin'schen Systeme den Zusammenhang der Erklärung erleichtert.

Was aber dieser Theorie den meisten Glanz gab, war die schöne Erklärung des Leidner Versuchs, der dadurch in einem über alle Erwartung deutlichen Lichte erschien. Franklin behauptete nämlich, das Glas sey undurchdringlich für die el. Materie selbst, nicht aber für die Wirkungen ihres Anziehens und Abstoſsens. Werde daher die eine Seite der Flasche *positiv* elektrisirt, so stoſse dieser Ueberfluſs eine gleiche Menge el. Materie in der andern Seite ab, daher werde diese eben so stark *negativ*, wofern sie nur ihre el. Materie wirklich abgeben könne, d. i. wenn sie nur nicht isolirt sey. Die Undurchdringlichkeit des Glases hindere die Ausgleichung des Mangels auf der einen Seite durch den Ueberfluſs der andern. Darin bestehe die *Ladung*. Werde nun eine äuſsere leitende Verbindung zwischen beiden Seiten gemacht, so gebe die positive Seite auf einmal ihren Ueberfluſs an die negative ab, ersetze den Mangel derselben und stelle des Gleichgewicht her. Dies sey die *Entladung*. Es bleibt bei der geladenen Flasche kein Hauptphänomen übrig, das man nicht auf diese Art mit hinlänglicher Deutlichkeit begreifen und vorhersagen könnte. Auch

die Erscheinungen des *Elektrophors* lassen sich aus diesem System erklären, wenigstens damit vereinigen[1].

Diese Vorzüge einer, wie es schien, vollkommen befriedigenden und einfachen Erklärung der mannigfaltigen el. Erscheinungen, haben dem Franklin'schen Systeme ein grofses und dauerhaftes Ansehn verschafft. Die schwachen Waffen, womit es NOLLET bestritt, konnten ihm nicht schaden. Gerade die Theile, die NOLLET tadelte, z. B. die Undurchdringlichkeit des Glases, die verschiedenen Elektricitäten beider Seiten der Flasche, stehen am festesten, und gerade *der* Punct ist zweifelhaft, den NOLLET selbst annahm, nämlich die Einheit der el. Materie. ROBERT SYMMER[2] zog, wie schon oben bemerkt, aus seinen Versuchen über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe die Vermuthung, dafs es zwei el. Materien gäbe, die beide einander stark anziehen, indem die Theilchen einer jeden sich unter einander selbst stark abstofsen. Nach dieser Hypothese sind also + E und — E zwei wirklich verschiedene Materien, die gegen einander gleichsam eine innige chemische Verwandtschaft haben, einander in der Entfernung anziehen, und durch diese Anziehung die einer jeden eigene repulsive Kraft ihrer Theilchen gegen einander schwächen, oder sich schon aus der Ferne binden und bei wirklichem Uebergange sättigen können. Wo nach FRANKLIN der Uebergang allemal nur von der Seite, die zu viel hat, d. h. von seiner positiven Seite aus, in die andere, die zu wenig hat, oder die negative Seite geschieht, da findet nach der richtig verstandenen Symmer'schen Theorie stets wechselseitiger Uebergang statt, oder es kommen sich beide Elektricitäten stets entgegen. Bei der obigen Auseinandersetzung der el. Erscheinungen haben wir eigentlich diese Theorie zum Grunde gelegt. Sie hat auch dem ersten Anblicke nach in ihren speciellen Anwendungen so viele Aehnlichkeit mit der Franklin'schen, dafs Einige sie blofs eine Verdoppelung der Letzteren genannt haben, indem in dieser *dualistischen* Theorie die negative E. auch ihrer Seits eine gleiche Rolle zu spielen scheint, wie die eine positive in dem Franklin'schen Systeme. Untersucht man aber die Sache gründlicher, so fallen die Abweichungen doch viel gröfser aus, da nach dem consequenten

---

1 S. *Elektrophor.*

2 Philos. Transact. Vol. LI. P. 1.

Dualismus alles auf einem bloſsen Wechselverhältnisse der el. Materie selbst beruht, und die Theile der Körper selbst sich ganz passiv verhalten. Daher halten wir für nöthig, von den Haupterscheinungen im Geiste der Symmer'schen Theorie, wie sie zwar von Symmer selbst noch nicht vorgetragen wurde, aber in den Principien desselben liegt, und nach Anleitung der lichtvollen Darstellung vorzüglich durch Biot, hier die speciellere Erklärung zur Vergleichung mit der Franklin'schen mitzutheilen.

Diese Haupterscheinungen, sofern sie hier nur erst in Betracht kommen, sind die *Repulsions-Erscheinungen gleichartig elektrisirter Körper* und *elektrisirter gegen indifferente* Fig. 33. oder *im 0 el. Zustande befindliche Körper*. A B sollen zwei positiv elektrisirte Hollundermarkkügelchen seyn. Die el. Flüssigkeiten, welche diese Kugeln einhüllen, stoſsen sich wechselseitig ab, und ihre Theilchen würden sich durch entgegengesetzte Bewegung im Raume verbreiten, wenn nicht die umgebende Luft sie um jeden Körper zurückhielte. Sie können daher nur nach den entgegengesetzten Seiten der beiden Kugeln hingleiten und sich daselbst anhäufen, so daſs die Flüssigkeit der Kugel A nach dem hintern Theile d derselben zurückgedrängt wird, und ihre Kraft auf die in der Nähe des Punctes befindliche Luft selbst ausübt. Weil alsdann das Gleichgewicht zwischen dieser Luft und derjenigen, welche dem vordern Theile c zunächst liegt, aufgehoben ist, so wirkt dieser letztere Theil durch seine E. auf die Kugel A, um sie nach der Richtung c h fortzustoſsen. Das ähnliche Raisonnement gilt umgekehrt auch von der Kugel B. Hieraus folgt dann nothwendig, daſs beide Kugeln nach entgegengesetzter Richtung aus einander gehen und fliehen müssen. Man könnte hier bemerken, daſs man die Mitwirkung der Luft gar nicht nöthig habe, um das wechselseitige Auseinandergehen beider positiv elektrisirter Körper zu begreifen, weil es schon eine nothwendige Folge der zurückstoſsenden Wirkung sey, welche die Theilchen der el. Flüssigkeit unmittelbar auf einander ausüben, genau so wie die gleichartigen Pole der Magnetnadeln sich wechselseitig zurückstoſsen und fliehen. In der Wirklichkeit kann man indeſs die Mitwirkung der Luft auf die oben angegebene Weise nicht leugnen, weil die E. an der Oberfläche der Körper selbst beweglich ist, und sobald sie sich also an der einen Seite anhäuft, was

eine nothwendige Folge der wechselseitigen Repulsion ist, an dieser Seite auch der Elasticität der Luft stärker entgegen wirken muſs, wodurch dann das Uebergewicht der Elasticität der Luft von Innen heraus nothwendig folgt. Wäre die E. an der Oberfläche der Körper selbst nicht beweglich, so würde allerdings die bloſse Repulsivkraft ihrer Theilchen in Beziehung auf einander als die einzige physische Ursache der Bewegung zu betrachten seyn, wie dieses bei Magneten wirklich der Fall ist, bei welchem die nördlichen oder südlichen Fluida, die sich zurücktreiben, ihre Stelle nicht verändern.

Die obige Erklärung findet auch ihre Anwendung, wenn beide Kugeln negativ elektrisirt sind, da die negativen Flüssigkeiten gegen einander dieselbe repulsive Thätigkeit ausüben, wie die positiven. Wenn die Kugel A positive, B negative E. besitzt, so werden die el. Flüssigkeiten einander so anziehen, daſs sie sich an der innern oder vordern Seite anhäufen, und also z. B. die in A an der Stelle C angehäufte Flüssigkeit, durch Zurückstoſsung auf die benachbarte Luft, wirken, folglich die an den hintern Theil grenzende Luft die Kugel A nach der Richtung dn stoſsen wird. Der nämliche Erfolg findet im entgegengesetzten Sinne in Hinsicht der Kugel B statt, und folglich bewegen sich die Flüssigkeiten und die Kugeln gegen einander.

Um den Fall gehörig zu würdigen, wo einer der beiden Körper im natürlichen Zustande sich befindet, und nur der andere elektrisirt ist, wo also das Gesetz der Vertheilung oder der Zersetzung des 0 in + und — eintritt, muſs erst das Gleichgewicht der beiden Körper betrachtet werden, die sich im natürlichen Zustande befinden, und zwar ist es hinlänglich, die Art zu bestimmen, wie A auf B wirkt, weil alle Wirkung wechselseitig geschieht.

Es finden hier vier Wirkungen von A auf B statt, welche von den Abstoſsungen seiner beiden el. Flüssigkeiten auf die gleichnamigen in B, und von den Anziehungen gegen die ungleichnamigen Flüssigkeiten herrühren. Das Gleichgewicht hängt von dem Gleichgewichte dieser vier Wirkungen ab. + E (von A) zieht — e (von B), — E stöſst — e ab, — E zieht + e an, + E stöſst + e ab. Nun sind die beiden ersten Kräfte einander gleich, denn wenn — e mehr oder weniger von + E angezogen als von — E abgestoſsen würde, so würde es eine Bewegung annehmen, welches aber mit der Vor- Fig. 33.

aussetzung des Gleichgewichts streitet. Aus demselben Grunde sind auch die beiden letzten Kräfte einander gleich, nämlich die Anziehung von + e durch — E, und die Abstoſsung von + e durch + E. Ferner ist die dritte Kraft der ersten gleich, d. h. so stark als + E — e anzieht, zieht auch — E + e an. Denn die Gröſse der Totalkraft, mit welcher — e sich nach + E zieht, ist gleich dem Producte — e × + E; eben so ist die Totalkraft, mit welcher + e von — E gezogen wird, dem Producte + e × — E gleich. Weil nun die beiden el. Flüssigkeiten in jedem Körper wechselseitig durch einander neutralisirt sind, so folgt daraus, daſs sich die Flüssigkeiten — E und — e und + E und + e in einer geometrischen Proportion befinden, d. h. — E × + e = + e × — E. Da nun drei von den hier betrachteten Kräften einander gleich sind und ein Gleichgewicht dabei statt findet, so muſs natürlich die vierte Kraft jeder der drei andern gleich seyn. Diese Gleichheit der vier Kräfte macht, daſs zwei Körper im natürlichen Zustande nicht auf einander wirken. Nun betrachte man einen positiv elektrisirten Körper A in Beziehung auf B, das sich im natürlichen Zustande befindet. Die positive Flüssigkeit, womit A umgeben ist, übt eine *zurückstoſsende* Kraft auf die gleichartige el. Flüssigkeit, welche den einen Theil von dem natürlichen Fluidum des Körpers B ausmacht, und eine anziehende auf sein — E aus. Das — zieht sich nach der Seite, die A am nächsten liegt, das + nach der entgegengesetzten Halbkugel von B. Wenn man nun auf die zu A hinzugekommene el. Flüssigkeit, von welcher sein el. und damit thätiger Zustand abhängt, dieselbe Schluſsart anwendet, wie bei derjenigen, welche einen Theil seines natürlichen Fluidums bildet, so ist leicht einzusehen, daſs sie bei gleicher Entfernung Wirkungen auf die beiden Flüssigkeiten von B ausüben würde, die sich wechselseitig zerstören. Da aber die Entfernung nicht mehr dieselbe ist, so wird das — e von B stärker angezogen, als das + e zurückgestoſsen werden, wovon dann die wechselseitige Annäherung bis zur Berührung die Folge seyn wird, wenn die Körper frei aufgehängt und beweglich sind. Wenn sich dann jene überschüssige Quantität der positiven Flüssigkeit von A mit der auf der Oberfläche von B verbreiteten negativen verbindet, so entsteht aus dieser Vereinigung eine gewisse Quantität natürlicher Flüssigkeit oder 0, welche in B zurückbleibt. Derjenige Theil der

positiven Flüssigkeit, der nothwendig aufser dem Zustande der Verbindung bleibt, vertheilt sich unter die beiden Körper nach einem bestimmten Gesetze der Oberflächen, und weil sich die Körper nun in gleichartig elektrisirtem Zustande befinden, so stofsen sie sich, wie auch die Erfahrung lehrt, einander ab. Alles Angeführte pafst auch auf den Fall der negativen Ladung von A, nur mit Veränderung der Zeichen. Die bisherige Darstellung bezog sich auf Leiter der E., an welchen diese sich frei bewegen kann. Wird ein Nichtleiter von einem elektrisirten Leiter angezogen, so bleibt ersterer an letzteren hängen, denn die Anziehung mufs fortdauern, weil nach der Berührung die überschüssige el. Flüssigkeit von A den Körper B nicht durchdringen kann, um sich mit der ihr entgegen gesetzten zu vereinigen. Da alle el. Erscheinungen von einem gleichen Wechselverhältnisse entweder der beiden freien ungleichnamigen oder der gleichnamigen Elektricitäten, oder der positiven oder der negativen gegen das 0 oder die neutrale Verbindung beider Elektricitäten abhängen, wobei jedesmal eine Zersetzung derselben, oder wie wir es oben bezeichnet haben, eine Vertheilung statt findet, so sieht man leicht ein, dafs die gegebene Erklärung überall ihre Anwendung finden mufs.

Was namentlich noch den Leidner Versuch anlangt, so macht das der inneren Seite der Verstärkungsflasche zugeführte + E durch Zurückstofsung einen nach der Dicke der dazwischen befindlichen Glaswand verschiedenen verhältnifsmäfsigen Antheil + E der äufsern Seite frei, und bindet eine gleiche Menge — E durch Anziehung derselben. Ist also die äufsere Seite mit hinlänglichen Leitern verbunden, so giebt sie demselben soviel + E ab, als frei wird, und soferne ihr Wirkungskreis sich auch noch auf diese Leiter selbst erstreckt, so treibt sie auch noch aus diesen + E zurück, und zieht ihr — E an. Dies macht die Ladung aus, deren genauerer Vorgang indefs erst unter dem Artikel *Flasche, geladene,* erläutert werden wird. Die entgegengesetzte E. auf der äufsern Seite ist vollkommen durch die der innern Seite gebunden, welche letztere dagegen stets einen verhältnifsmäfsigen Antheil freier E. zeigt. Wird zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung gemacht, so macht sich auf einmal alles — E und + E von beiden los. Aus der innern Seite geht das + E heraus, welches das — E der äufsern band, die äufsere entläfst das — E, welches einen

verhältnifsmäfsigen Theil des + E der innern Seite gebunden gehalten hatte. Beide Seiten befreien also einander selbst von ihren Elektricitäten. Die Phänomene des *Elektrophors* erklären sich nach dieser Theorie eben so genügend, da sie nach dem Gesetze der el. Vertheilung erfolgen[1].

Wie verschieden auch sonst die Ansichten der Physiker über die nähere Natur der E. sich gestaltet haben, so lassen sie sich doch immer auf eine dieser beiden Haupttheorien zurückbringen, und um über den Werth derselben entscheiden zu können, ist es also vor allen Dingen nöthig, den Vorzug der einen derselben vor der andern dargethan, oder, was das letzte Ziel seyn mufs, womöglich die eine als unhaltbar gänzlich beseitigt zu haben.

Bei Gegeneinanderhaltzung derselben erscheint beim ersten Anblicke ein wesentlicher Vorzug der *Franklin'schen Theorie* darin zu bestehen, dafs sie da nur eine Materie gebraucht, wo der Dualismus zwei zu Hülfe nehmen mufs. Man soll nach Newton's weisen Regeln nie mehr Ursachen annehmen, als zur Erklärung der Erscheinungen nothwendig sind, also nicht zwei, wo eine hinreicht. Aber es ist hier eben die Frage, ob diese eine wirklich hinreichend sey, und ob nicht die Annahme zweier Materien durch Analogie mit andern schon fest begründeten Erklärungen sich mehr empfehle. Man kann in Hinsicht auf das Für und Wider gleichsam zwei Epochen in der Geschichte der Elektricitätslehre unterscheiden, jene vor der Entdeckung des Galvanismus und insbesondere der Volta'schen Säule, in welcher das Uebergewicht der Gründe für zwei el. Materien noch nicht so entschieden war, und daher auch die Franklin'sche Theorie noch immer die meisten Anhänger zählte, und die neuere mit der Volta'schen Säule beginnende, in welcher die neu entdeckten chemischen Verhältnisse der E. der Waagschale auf der des Dualismus den völligen Ausschlag zu geben scheinen. Doch auch ohne Rücksicht auf diese chemischen Verhältnisse boten sich schon in jenem ersten Zeitpuncte mannigfaltige Schwierigkeiten bei der Erklärung verschiedener Erscheinungen nach Franklin's Weise dar.

Zuerst läfst sich einwenden, dafs noch niemand durch einen entscheidenden Versuch habe darthun können, welcher von

---

1 S. *Elektrophor.*

beiden el. Zuständen der *wirklich positive* sey, d. h. auf welcher Seite sich der Ueberfluſs befinde. Nach Franklin's Theorie müſste es sich nämlich mit + E, 0, und — E wie mit verdichteter, gewöhnlicher freier, und verdünnter Luft verhalten. Wie es nun bei der Luft sogleich in die Augen fällt, wo sie verdünnt und verdichtet ist, so sollten sich doch hier auch deutliche Anzeigen finden, wo man den Ueberschuſs, und wo den Mangel antreffe. Franklin ward hierüber schon von Kinnersley befragt, und nahm die Glaselektricität für die positive an. Seine Gründe für diese Behauptung sind folgende:

1. Die Glaselektricität giebt weit stärkere und längere Funken, als die einer Schwefelkugel. Dieses erklärt er dadurch, daſs die Körper weit geschickter sind, mehr E. anzunehmen, als die ihnen eigene aus sich herzugeben, daher der Conductor durch Glas, wobei er mehr erhält, stärker elektrisirt werde, als durch Schwefel, wobei er etwas abgeben müsse. Jedoch kann diese willkürlich angenommene Behauptung keinen Beweis abgeben.

2. Wenn die Glaselektricität aus Spitzen ausgeht, sind die Feuerbüschel lang, stark und prasselnd; kürzer hingegen, schwächer und mehr zischend, wenn eine Spitze Harzelektricität verliert. Franklin nimmt die starken Büschel für Ausströmungen des Ueberflusses, die schwachen für Eindringen an, wodurch Mangel ersetzt werde. Die Vertheidiger seines Systems haben noch angeführt, daſs Spitzen, wenn sie + E annehmen, oder nach der dualistischen Ansicht — E abgeben, gar keinen Büschel, sondern einen leuchtenden Punct zeigen, den sie auch wohl einen Stern nannten. Hiermit stimmen aber die Versuche nicht immer überein, denn negative Spitzen zeigen bei stärkerer Intensität ihrer E., namentlich wenn sie mit dem Conductor des Reibzeuges einer starken Elektrisirmaschine verbunden sind, wirkliche divergirende Feuerbüschel. Noch mehr: An beiderlei Spitzen fühlt man ein Blasen, wenn man die flache Hand dagegen hält, und dieser Wind kommt jederzeit von der Spitze her, geht aber nie auf sie zu. Man kann durch dieses Blasen Körper in Bewegung setzen[1], und diese drehen sich allezeit nach einerlei Seite, es sey nun + E was sie treibt, oder — E. Ja eben das geschieht auch im luftleeren Raume. Kampher, den man auf dem Conductor einer Elektrisirmaschine

1 S. *Flugrad, elektrisches.*

anzündet, wieder ausbläst und dann plötzlich elektrisirt, wird in lange divergirende Fäden ausgesponnen, der Conductor mag + E oder — E haben. Auf ein gleiches Resultat führt auch das Verhalten der Spitzen gegen die Lichtflamme, an welche sich überhaupt die Physiker wegen ihrer vorzüglich leichten Beweglichkeit gewandt haben, um über die Richtung der E. in ihrer Rewegung und also namentlich darüber, ob einerseits ein Ueberfluſs, andererseits ein Mangel statt finde, ins Reine zu kommen, die aber eben wegen dieser Beweglichkeit leicht zu Täuschungen Anlaſs geben kann. Remer hat einen solchen hierher gehörigen Versuch mitgetheilt, der, ihm zufolge, gegen Franklin zu sprechen scheint[1]. „Wenn man einer am positiv elektri- „sirten Conductor befindlichen Drahtspitze eine brennende „Wachskerze nähert, so wird diese anfänglich weggeblasen, „als wenn ein Wind aus der Spitze auf sie hinwehete. Bringt „man sie näher, so wird sie zuletzt gänzlich ausgelöscht, „wenn die Flamme nicht zu groſs ist. Nach Franklin's Theorie „hätte nun an einer eben so mit dem negativ elektrisirten Conductor „verbundenen Spitze das Gegentheil erfolgen müssen. Ich brachte „eine kleine brennende Wachskerze in den bewegten Luftstrom „vor einer solchen Spitze, und sogleich entfernte sich die Flamme „von derselben, wurde kleiner und drohte zu verlöschen, wie „beim positiv elektrisirten Conductor. Dies dauerte so lange „als ich die Kerze zwei bis drei Zolle von der Spitze entfernt „hielt. Näherte ich sie aber der Spitze bis auf wenige Linien, „so erholte sich die Flamme sichtbar, fing scheinbar an, leb- „hafter zu brennen, zog sich mit ihrem mittlern Theil nach der „Spitze hin, und nahm eine bauchige halbmondförmige Gestalt „an, so daſs die Spitze der Flamme von der Drahtspitze abge- „wendet war, ihr Körper aber sich dem Drahtende näherte. „Am positiven Conductor löschte sich die Flamme sogleich aus, „als ich sie der Drathspitze nahe brachte, und selbst bei der „schwächesten E. konnte ich es nicht dahin bringen, daſs sie „eben die Gestalt erhielt, welche sie am negativen Conductor „angenommen hatte."

Daſs dieses Phänomen doch nicht ganz entscheidend für das dualistische System und gegen Franklin's Theorie spricht, bemerkt indeſs Remer selbst, da auch bei der gröſseren Annä-

1 G. VIII. 330.

herung der Flamme die negativ elektrisirte Spitze derselben eben so gut hätte verlöschen sollen, wie die positiv elektrisirte Spitze. Weniger zweideutig sind ähnliche Versuche von MUNCKE[1]. Gegen eine brennende Kohle, eine Lichtflamme, am besten eine brennende Räucherkerze, sie mochte auf den positiven oder negativen Conductor gesetzt werden, blies der Wind gleichmäfsig von einer einen halben bis ganzen Zoll entfernten nicht isolirten Spitze, und wenn einer der genannten Gegenstände auf ein nicht isolirtes Gestell gesetzt wurde, so blies der Wind eben so gut von einer solchen Spitze aus, die an einer isolirenden Handhabe gehalten, und mit dem Conductor in Verbindung gesetzt wurde, es mochte der positive oder negative seyn. Dafs dieses Phänomen nicht, wie GILBERT glaubt, auf das wechselseitige Zurückstofsen negativ elektrisirter leicht beweglicher Körper, für welches die Franklin'sche Theorie einen Grund in der Anziehung derselben durch die umgebende Luft anzugeben weifs, zurückgeführt werden kann, ist einleuchtend Denn wie sollte eine negative Spitze, ohne dafs etwas aus ihr ausströmt, die umgebende Luft in den negativen Zustand zu versetzen im Stande seyn, da ja die relativ gegen sie positive Luft vielmehr gegen sie hinströmen mufs.

Auch RÖSLIN[2] beruft sich auf die Erscheinungen, welche die Lichtflamme in ihrem Verhalten gegen die beiden Elektricitäten zeigt, als auf einen Hauptbeweis gegen FRANKLIN's Theorie. Eine Lichtflamme in einer Entfernung von 1¼ Zoll, entweder an den Cylinder der Elektrisirmaschine während des Reibens derselben oder an eine an den isolirten Conductor des Reibzeuges gesteckte Kugel gebracht, wird in ihrer Richtung gleichmäfsig so verändert, dafs sie unten einen Bauch gegen den Cylinder oder die Kugel hin bildet, und ihre Spitze sich davon flatternd abwendet. Es ziehe also, meint RÖSLIN sowohl das + als das — den untern dem Talge am nächsten liegenden Theil der Flamme an, wobei diese, weil das Fett ein Halbleiter ist, in gewissem Grade mit + E oder — E el. werden soll, was das Abgestofsenwerden ihrer Spitze und das Flattern derselben zur Folge habe. (Dann sollte ja aber auch der auf gleiche Art elektrisirte Bauch der Flamme abgestofsen werden.) Wurde

1 G. N. F. XI. S. 95.

2 Dessen kritischen Prüfungen u. s. w. Ulm 1823. S. 40 ff.

dagegen die Lichtflamme zwischen den geriebenen Glascylinder und den ersten Leiter, welcher an dem der Flamme zugekehrten Ende mit einer 1½ Linien weiten, 1¼ Zoll langen, an ihrem vordern Ende recht glatt abgeschliffenen kupfernen Röhre versehen war, oder zwischen jene Kugel des Reibzeugs und einer zweiten, mit einer ähnlichen Röhre versehenen Leiter gebracht, so dafs die Röhre gegen die Mitte der Flamme gerichtet war und etwa 1 Zoll davon abstand, so nahm sie, wenn die Maschine in Bewegung gesetzt wurde, eine umgekehrte Richtung, wie im vorigen Versuche an, indem nunmehr der Bauch der Flamme gegen jene Röhre gezogen, die Spitze dagegen in dem einen Falle gegen den Glascylinder, in dem andern gegen die Kugel des Conductors des Reibzeugs gelenkt wurde. Diese Versuche sind in soferne wichtig, als sie eine gleiche Art der Wirkung sowohl des + E als des — E auf die Lichtflamme beweisen. Indessen haben andere Versuche ein solches ganz gleichmäfsiges Verhalten der beiden Elektricitäten gegen die Lichtflamme nicht bestätigt. Schon die oben angegebenen von Remer stimmen mit Röslin's Angaben nicht ganz überein, eben so wenig die von Cuthbertson angestellten[1]. Er isolirte zwei Drähte, welche sich mit Metallkugeln von etwa ¾ Zoll Durchmesser endigten, verband den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor einer Elektrisirmaschine, entfernte beide Kugeln etwa 4 Zoll von einander und setzte zwischen sie ein brennendes Licht, so dafs der Mittelpunct der Flamme sich ungefähr in der Mitte zwischen den Mittelpuncten beider Kugeln befand. Wurde nun die Maschine gedreht, so fing die Flamme an, sehr stark zu flattern, dabei schien sie sich nach der negativen Kugel hinzuneigen, doch war dies Letztere zweideutig. Wurde nun mit Drehen fortgefahren, so fing (bei einer Scheibe von 2 Fufs Durchmesser etwa nach 50 Umdrehungen) die negative Kugel an, warm zu werden, indefs die positive kalt blieb. Nach 200 Umdrehungen war die negative Kugel so heifs, dafs man sie nicht mehr anfassen konnte, und die positive noch eben so kalt, als zu Anfange. Cuthbertson betrachtet diese Thatsache als ein Zeichen, dafs sich das el. Fluidum von der positiven nach der negativen Kugel hinbewege, und demnach als einen Beweis für die Richtigkeit der Frank-

1 Nicholsons Journal Vol. III. p. 188.

lin'schen Theorie. W. T. BRANDE[1] kam aber auf den Gedanken, daſs diese Erscheinung noch eine andere Erklärung zulasse, und zwar aus der elektrochemischen Theorie. Er fand bei Wiederholung des Versuchs, daſs wenn die Wirkung der Elektrisirmaschine nur schwach war, die negative Oberfläche nicht nur schneller heiſs wurde als die positive, sondern auch die Flamme und den Rauch sichtbar anzog. Als er nun an die Stelle der Kerzenflamme brennenden Phosphor brachte, gab die Flamme desselben die umgekehrten Erscheinungen. Die positive Oberfläche wurde beträchtlich heiſser als die negative, und die Flamme und der Rauch des Phosphors kräftig nach ihr hingezogen. Er schloſs hieraus, die Lichtflamme werde, weil sie Kohlenstoff und Wasserstoff in Menge enthalte, von dem *negativen* Pole angezogen, die Flamme und der Rauch des Phosphors dagegen von dem *positiven* Pole, weil beim Verbrennen des Phosphors Säure entstehe, und so würden diese Erscheinungen unmittelbare Folgen der bekannten Gesetze der elektrisch-chemischen Anziehungen seyn. Zur weiteren Bestätigung dieser Ansicht stellte BRANDE noch fernere Versuche an. Hierzu gebrauchte er ein kleines Tischchen, auf welches der brennende Körper gesetzt wurde, und an dessen entgegengesetzten Seiten auf isolirenden Säulen, die einander genähert oder von einander entfernt werden konnten, sich zwei hohle Kugeln aus dünnem Messingblech befanden, von denen jede die Kugel eines mit seiner ganzen Scala über sie hinausragenden Thermometers in sich schloſs. Die innere Seite des Messingblechs und die äuſsere Seite der Thermometerkugeln war mit Lampenruſs matt geschwärzt, um das Aus- und Einströmen der Wärme zu erleichtern. Die eine Kugel wurde mit dem positiven, und die andere mit dem negativen Leiter einer kleinen Nairne'schen Patentmaschine in leitende Verbindung gesetzt, so daſs der ganze Apparat vollkommen isolirt war.

Zuerst leitete er zwischen die beiden Kugeln einen kleinen Strom ölerzeugendes Gas, und steckte ihn an; die Flamme wurde offenbar nach der negativen Kugel hingezogen. Sie blieb eine Minute lang brennen; beide Thermometer hatten vorher auf 60° Fr. gestanden; am Ende des Versuchs aber stand das in der positiven Kugel auf 62°, und das in der negativen Kugel

---

1 Philos. Trans. for 1814. P. I.

auf 72° F. Eine sehr kleine Flamme von Phosphor-Wasserstoffgas neigte sich ein wenig nach der positiven Kugel hin, und sie machte in einer Minute das pos[illegible] Thermometer um 5° und das negative nur um 3° steigen. Eine gröſsere Flamme schien nach beiden Kugeln gleichmäſsig hingezogen zu werden, der saure Rauch zog aber immer nach der positiven Kugel. Die Flamme des Arsenikwasserstoffgases wurde von der negativen Kugel angezogen, der Rauch vom weiſsen Arsenik aber, der während des Verbrennens entstand, wurde ein wenig nach der positiven Kugel gezogen. — Die Flamme des Wasserstoffgases gab nur einen geringen Ausschlag von gröſserer Erwärmung für die negative Kugel. Eine gröſsere Flamme von Kohlenoxydgas zog sich augenscheinlich nach der positiven Kugel, und nachdem jene 2 Minuten gebrannt hatte, war diese Kugel um 2½ bis 3° F. wärmer, als die negative. Die Flamme des Schwefelkohlenstoffs wurde von der negativen Kugel angezogen, während die aufsteigenden sauren Dämpfe die entgegengesetzte Richtung nahmen. Ein kleiner Strom salzsaures Gas und ein ähnlicher von salpetersaurem Gas, welche Brande zwischen beide Kugeln treten lieſs, verhielten sich auf ganz gleiche Art, sie wurden sogleich von der positiven Kugel angezogen, und dies wurde noch sichtlicher, wenn in die Luft um den Apparat Ammoniakgas gebracht wurde. Auch bei einer Entfernung der Kugeln von 6 Zoll wurde das Lakmuspapier, womit die Kugeln umkleidet waren, von einem in der Mitte zwischen beiden aufsteigenden Strome von salzsaurem Gase augenblicklich an der positiven Kugel geröthet, während das der negativen Kugel ihr Blau unverändert behielt. Die Flamme und der alkalische Rauch des zwischen beiden Kugeln verbrennenden Kalium's begab sich nach der negativen Kugel. Ammoniakgas gab keine recht deutliche Resultate, es schien von beiden Kugeln gleichmäſsig angezogen oder oder abgestoſsen zu werden, und wenn gleich das Kurkumäpapier, womit die beiden Kugeln überzogen wurden, eher an der negativen Kugel bräunlich zu werden schien, so waren doch nach kurzer Zeit die Färbungen auf beiden Seiten gleich stark. Ein von mäſsig erhitztem Benzoe sich erhebender Dunst von Benzoesäure, schien von der positiven Kugel angezogen zu werden; als sich aber das Benzoeharz entzündete wurden die Flamme und die ölige Materie sogleich zu der negativen hingezogen. Etwas reine Benzoesäure, die zwischen der

beiden Kugeln aus einer silbernen Schale sublimirt wurde, zog sich nach der positiven Kugel, sobald aber die Säure sich entzündete, nahm der rufsige Rauch den Weg zur negativen Kugel. Kampher und die Harze brennen bekanntlich mit vielem Rufs. Flamme und Rauch wurden von der positiven Kugel zurückgestofsen und von der negativen sehr deutlich angezogen, diese überzog sich bald dick mit Rufs, indefs die positive Kugel davon nur sehr wenig annahm. Der Bernstein verhielt sich nach Art des Benzoe. Bei blofser Schmelzung zogen sich seine sauren Dämpfe nach der positiven Kugel, sobald er sich aber entzündete, gingen die Flamme und der Rauch zur negativen Kugel. Bei diesen Versuchen kommt es vorzüglich darauf an, dafs die Luft ganz in Ruhe und die el. Kraft nur schwach sey; erregt man zu starke E., so werden Flamme und Rauch, besonders wenn sie isolirt sind, von beiden Kugeln abwechselnd angezogen und abgestofsen.

Die Resultate dieser Versuche liefern eine auffallende Uebereinstimmung des Verhaltens der Reibungselektricität mit demjenigen der Berührungselektricität, und deuten auf eine gleiche Ursache. So wie in der Gasentbindungsröhre die verbrennlichen und basischen Materien sich nach dem negativen, die verbrannten, und im engeren Sinne die aciden Materien sich nach dem positiven Pole hinziehen und diese Anziehung von dem relativen Gegensatze der el. Ladung dieser beiderlei Classen von Körpern abzuhängen scheint, so zeigte sich auch in obigen Versuchen die gleiche Beziehung. Insofern entscheiden dieselben an und für sich nichts wider die Franklin'sche Theorie, indem sie die Bewegungen der Flamme auf das allgemeine Gesetz der Anziehung *entgegengesetzt*, und der Zurückstofsung *gleichartig* elektrisirter Körper zurückführen[1].

2. Franklin glaubte zu bemerken, dafs der Funken zwischen der Schwefelkugel und seinem Finger sich über des letzteren Oberfläche zu verbreiten schien, als ob er aus dem Finger flösse; bei der Glaskugel aber war der Fall anders. Indefs sieht man leicht ein, dafs ein so zweideutiges Phänomen, vollends da die Verbreitung über eine Fläche ebensowohl Einfliefsen als Ausfliefsen anzeigen kann, unmöglich zum Entscheidungsgrunde eines Systems dienen kann.

---

1 Vergl. den Artikel: *Galvanismus.*

3. Er führt endlich an, dafs das Blasen negativer Spitzen schwächer sey, als das von positiven. Dies ist aber mehr wider ihn, indem er dadurch doch eingesteht, dafs negative Spitzen auch blasen, welches doch eher ein Ausströmen als ein Einströmen anzeigt. Höchstens folgte hieraus, dafs + E unter den gewöhnlichen Umständen sich leichter mittheile, als — E, sey es nun, dafs sie bei gleicher Quantität eine gröfsere Expansivkraft besitze, oder die Luft dieselbe weniger isolire. Die Anhänger Franklin's haben nach ihm mancherlei Versuche erdacht, um zu beweisen, dafs die Richtung der el. Bewegung oder Thätigkeit von der positiven Seite nach derjenigen hingehe, welcher die negative zukomme. Cavallo hat insbesondere mehrere solche Versuche geltend zu machen gesucht. Es hat aber keiner dieser Versuche die zur Entscheidung erforderliche Deutlichkeit. Bei allen wird eine fast ängstliche Sorgfalt empfohlen, wenn sie nicht fehlschlagen oder zweideutig erscheinen sollen; bei einigen wird sogar eingestanden, dafs das Resultat bald so, bald anders sey. Die Versuche, welche sich auf die Phänomene der Entladung der Leidner Flaschen beziehen, werden an ihrem Orte gewürdigt werden, und wir bemerken hier nur vorläufig, dafs, weit entfernt ein der Franklin'schen Theorie günstiges Resultat zu geben, einige derselben nicht wohl vereinbar mit derselben sind. Da wo die Lichterscheinungen über die Richtung und den Gang der E. entscheiden sollen, ist eine Täuschung leicht möglich, und die Bewegung ist gewöhnlich so rasch, dafs sie keine genaue Beobachtung zuläfst. Doch deuten selbst diese Phänomene mehr auf das Zusammentreffen zweier Materien, als auf eine einseitige Thätigkeit. So erscheint in der That der gewöhnliche el. Funken, der zwischen dem positiven Conductor und dem Knöchel des Fingers oder einer auffangenden Kugel ausbricht, aus zwei Hälften zusammengesetzt, die von beiden Seiten nach der Mitte zusammenfahren. An den Enden beider Seiten ist er dick und von intensiverem weifsem Lichte, in der Mitte schmäler mehr violett, fast kupferfarben, ja bisweilen ganz unterbrochen. Ebenso verhält sich die Sache, wenn zwischen dem negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs und einer Auffangkugel ein Funken durchbricht, nur dafs der Funken in diesem Falle unter gleichen Umständen stets kürzer ist[1].

1 S. *Funken, el.*

Van Marum glaubte aus folgenden mit der grofsen Tayler-schen Maschine angestellten Versuchen ein entscheidendes Argument für die Franklin'sche Theorie erhalten zu haben. Setzt man nämlich bei günstiger Witterung die Maschine in Bewegung, und stellt vor den Haupt-Conductor einen zweiten, so sieht man im Dunkeln einen Funken zwischen beiden hervorspringen, welcher statt einen einzigen Feuerstrahl zu bilden, (wie dieses bei schwächeren Maschinen der Fall ist) sich beim Ueberspringen in eine grofse Zahl von Aesten theilt, welche die Figur eines Baumes annehmen, wovon der Stamm gegen den positiv geladenen Conductor gerichtet ist, die Aeste aber gegen den zweiten (relativ negativen) Conductor gewendet sind. Um aber den Beweis ganz entscheidend zu machen, verband er den Hauptconductor mit dem Reibzeuge, der dadurch negativ geladen wurde, und liefs einen Funken auf einen zweiten mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter springen. Auch in diesem Falle sprang der Funken nicht minder sichtbar in getheilten Strahlen von dem nicht elektrisirten Conductor, zu dem negativ elektrisirten. Die Aeste des Funkens waren nicht so lang, wie im ersten Versuche, aber eben so deutlich[1]. Diesem letzteren Versuche steht aber ein von G. Bischoff[2] angestellter geradezu entgegen, und hebt eben damit die Beweiskraft des ersteren auf. Es diente ihm zu demselben eine Cylindermaschine, an welche der erste oder positive Leiter und derjenige des Reibzeugs einander ganz gleich waren. Steckte er zuerst auf den positiv elektrisirten Conductor, während der des Reibzeugs mit dem Erdboden in leitender Verbindung war, einen messingenen Knopf von ungefähr ¾ Zoll Durchmesser, und näherte er demselben einen mit einem gleichen Knopfe versehenen messingenen Leiter, den er in der Hand hielt, so sprang in einer gewissen Entfernung ein Funken über, der ungefähr ¾ Zoll lang einen einzigen Feuerstrahl bildete, dann oben in zwei Aeste sich theilte, welche auf ihrem fortgesetzten Wege in immer mehrere Aeste zertheilt wurden; in gröfserer oder geringerer Entfernung zeigte sich blofs ein einziger Feuerstrahl. Steckte er hingegen jenen Knopf auf den Conductor des Reibzeugs, und verband den andern Conductor leitend mit dem Erdboden, so war ganz dieselbe

1 Schweigg. Journ. XXIX. 475.

2 Kastner's Arch. II. 207.

Erscheinung wahrzunehmen, nur in umgekehrter Richtung, die Aeste waren gegen den in der Hand gehaltenen Leiter, und der Stamm gegen den negativ elektrisirten Conductor gekehrt. Ich selbst habe öfters ein ähnliches Phänomen beobachtet, daſs nämlich bei Annäherung eines mit einer nicht zu groſsen Kugel versehenen metallenen Leiters, den ich in der Hand hielt, gegen den negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs von jener Kugel mehrere Aeste, die gleichsam die Krone eines Baumes vorstellten, hervorsprangen, die gegen den negativen Leiter convergirten, und dicht an demselben in einem Stamme sich vereinigten. Man sieht hieraus, daſs der van Marum'sche Beweis gegen die dualistische Theorie gänzlich über den Haufen fällt, denn es würde ganz willkürlich seyn, in dem einen Falle die Aeste als eine Divergenz, in dem andern als eine Convergenzbewegung anzunehmen.

Dieselbe Bewandtniſs hat es mit den el. Lichtphänomenen in der verdünnten Luft, an welchen die Franklinianer einen so augenscheinlichen Beweis der einseitigen Richtung der Bewegung von der positiven nach der negativen Seite zu besitzen glauben. Cavallo beruft sich besonders auf einen Versuch, wo zwei Metallstäbe mit Kugeln von etwa zwei Zoll Durchmesser in einer Entfernung von 4 Zollen oder noch besser etwas darüber einander unter einer Glocke gegenüberstehen, wo nach dem Exantliren sich nur um die positive Kugel ein Lichtschein zeigen soll, mag dieselbe unmittelbar positiv elektrisirt oder dadurch positiv seyn, daſs man die ihr gegenüberstehende Kugel negativ elektrisirt, welche letztere auch in diesem Falle nichts von einer leuchtenden Atmosphäre zeigt[1]. Hingen die el. Erscheinungen von zwei Materien ab, so müſsten um beide Kugeln sich leuchtende Atmosphären zeigen, wenigstens auf jeden Fall auch eine um die negativ elektrisirte Kugel. Mit dieser Angabe Cavallo's stimmen aber so wenig meine eigenen als die Versuche anderer Experimentatoren überein. Insbesondere hat Hildebrand[2] eine groſse Reihe von Versuchen angestellt, aus welchen hervorgeht, daſs zwar in der verdünnten Luft der Lichtnimbus und die Lichtströme sich vorherrschend von der positiven Kugel aus verbreiten, daſs aber auch an der negativen ein nur beschränkterer Lichtnimbus und Lichtaus-

1 Vollständige Abhandlung etc. S. 206. ff.

2 Schweigg. J. I. 237.

fluſs sich zeigt. Es findet in dieser Hinsicht im Wesentlichen ganz dasselbe Verhältniſs statt, wie zwischen den Lichtausbreitungen der positiven und negativen Spitzen. CAVALLO selbst bestätigt dieses in der Beschreibung der Lichterscheinungen, welche der leuchtende oder sogenannte Henly'sche Leiter darbietet[1], ja RÖSLIN will aus den el. Phänomenen in der verdünnten Luft gerade den *Gegenbeweis* führen[2]. Auf 10 Seiten hat indeſs dieser weitschweifige Schriftsteller zu den bereits von so vielen Beobachtern schon früher beschriebenen nichts Neues hinzugefügt, sondern nur wieder bestätigt gefunden, daſs ebensowohl aus einer negativ elektrisirten abgestumpften Spitze ein kegelförmiger violetter Lichtstrom ausgeht, als aus der positiven, daſs ersterer vielmehr ausgebreitet ist, als in Luft von mittlerer Dichtigkeit, daſs jedoch der positive Lichtstrom unter gleichen Umständen denselben an Länge bedeutend übertrifft, daſs, wenn der Abstand der Spitzen nicht zu groſs ist, und der eine Draht + der andere — elektrisirt wird, beide Ströme sich in der Mitte begegnen u. s. w. Bei einer unpartheiischen Würdigung der so mannigfaltigen Versuche über die el. Lichtströme gelangt man zu dem Resultate, daſs der Augenschein mehr für ein Ausströmen und Entgegenströmen von zwei Seiten her, als für ein einseitiges Ausströmen von einer einzigen Seite her spricht.

Es spricht ferner gegen die Franklin'sche Theorie die so vollkommene Gleichheit der Erscheinungen der Abstoſsung positiv und negativ el. Körper, welche augenscheinlich auf eine gleiche Ursache in beiden Fällen hinweiset, wie sie die dualistische Theorie in der, beiden Arten von E. gleichmäſsig zukommenden, Repulsivkraft aufstellt, während FRANKLIN zur Erklärung der wechselseitigen Abstoſsung negativ el. Körper ein ganz anderes Princip zu Hülfe nahm. Zwar hat VAN MARUM dieser Einwendung dadurch zu begegnen gesucht[3], daſs er diese Abstoſsung in beiden Fällen auf eine Anziehung zurückführte, indem die umgebenden Lufttheilchen, die in einem relativ negativen Zustande sich befinden, gegen das im Ueberschusse vorhandene el. Fluidum der positiv el. Körper, und somit gegen diese selbst, eine ähnliche Anziehung ausüben sollen, wie bei den negativ el. Körpern die relativ überschüssige

1 a. a. O. S. 201.
2 Kritische Prüfungen u. s. w. S. 51—61.
3 Schweigg. Journal der Ch. XXIX. 479.

E. der umgebenden Luft gegen die Materie dieser Körper ausübt; indeſs kommt bei den positiv el. Körpern die eigene Repulsivkraft der Theilchen ihres el. Fluidums noch als eine zweite Ursache hinzu, die der Abstoſsung in diesem Falle doch eine etwas andere Gestalt geben sollte. Hierzu kommt, daſs wenn man die Lehre von einer einzigen el. Materie zur genauen und der Berechnung fähigen Erklärung der Erscheinungen anwenden will, man durchaus mit *Aepinus* zu der sonderbaren Hypothese seine Zuflucht nehmen muſs, daſs die Theilchen der Körper sich einander auf Entfernung gerade wie die Theilchen der E. unter einander zurückstoſsen, und daſs es nur von der Gegenwart des el. Fluidums herrührt, daſs die Theilchen aller Körper auf einander nicht eine der allgemeinen Gravitation entgegengesetzte Wirkung ausüben. Eben so wenig ist es aus der Theorie einer einzigen Materie, deren Theilchen von den Theilchen der Körper selbst angezogen werden, zu begreifen, warum die E. auf den Oberflächen der Leiter sich nach Verhältnissen verbreitet, die ganz unabhängig sind von ihrer chemischen Natur und ganz allein durch ihre Dimensionen bestimmt sind, warum ferner die negative E., die doch nur eine Beraubung, ein Mangel an E. ist, bloſs auf der Oberfläche dieser Körper zum Vorschein käme, und in jedem Puncte dieser Oberfläche sich ganz in Gemäſsheit von strengen hydrostatischen Gesetzen verhalten sollte, von Gesetzen, welche ein wirkliches Fluidum befolgen würde, dessen Theilchen sich nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen zurückstoſsen.

Dasselbe gilbt ferner auch von den besondern Modificationen der Verbreitung der beiden Elektricitäten auf den Oberflächen der Leiter nach Verschiedenheit ihrer Gestalt, wenn sie in Berührung kommen oder aus derselben treten, welche die Rechnung aus der Hypothese zweier Materien mit Genauigkeit entwickeln, und wovon Biot[1] interessante Belege liefert, während sich der Theorie *einer* Materie hierbei die gröſsten Schwierigkeiten entgegensetzen. Endlich scheinen noch besonders diejenigen Erscheinungen, in welchen die Körper mit ihren kleinsten Theilchen in ein Verhältniſs mit der E. treten, wie bei der Durchleitung eines el. Stroms durch Flüssigkeiten aller

1 S. a. a. O. vorzügl. Chap. 4 u. 5. S. 280.

Art in den Galvanischen Versuchen, auf ein verschiedenes chemisches Anziehungsverhältnifs dieser kleinsten Theilchen gegen die beiderlei Arten von E. hinzudeuten, was mit der Annahme, dafs die negative E. in einem blofsen Mangel besteht, nicht wohl vereinbar ist, wohin denn auch noch die Erscheinungen des specifischen Leitungsvermögens gewisser Körper für die beiderlei Arten von E. gehören, wovon unter *Galvanismus* und *Leiter* noch weiter die Rede seyn wird.

Eben wegen der grofsen Leichtigkeit, womit die mannigfaltigsten el. Erscheinungen nach der Theorie zweier Materien erklärt werden können, ist schon WILKE, der sonst in den Erklärungen dem Franklin'schen Systeme sehr glücklich folgte und zur weiteren Ausschmückung desselben beigetragen hat, seit seinen im Jahre 1762 und 1763 angestellten Versuchen[1] über die entgegengesetzten Elektricitäten mehr auf die Seite der Symmer'schen Theorie getreten, und hat sich nachher in seinen Abhandlungen über den Elektrophor[2] noch bestimmter dafür erklärt. Auch nahmen schon in früherer Zeit BERGMANN[3] KRATZENSTEIN[4] KARSTEN[5] und FORSTER[6] lieber zwei verschiedene el. Materien, als eine einzige an. LICHTENBERG schlug zwar vor, die Phänomene durch die Bezeichnungen + und — zu erklären, welche man nach beiden Systemen übersetzen kann, doch räumte er gleichfells dar Symmer'schen Theorie den Vorzug ein. Durch die Entdeckung des Galvanismus hat endlich die dualistische Theorie das entschiedenste Uebergewicht über die Franklin'sche erhalten. Die französischen, die meisten deutschen und englischen Physiker haben sich für dieselbe erklärt, doch glänzen auch noch auf Seiten der Unitarier einige grofse Namen, und schon die Autorität eines VOLTA, jenes ruhmbedeckten Nacheiferers von FRANKLIN würde sehr entscheidend seyn, wenn nicht die Macht der Gründe entgegenstände.

---

1 Schwed. Abhandl. Bd. 23. S. 271 und Bd. 25. S. 207 u. f.

2 S. ebend. Bd. 39. S. 68.

3 Ebend. für 1765 Bd. 27. S. 145.

4 Vorlesungen über die Experimentalphysik. Copenh. 1781. 8. S. 151.

5 Anleitung zur gemeinnützlichen Kenntnifs der Natur. Halle 1783. 8. S. 497.

6 S. v. Crell's neueste Entdeckungen in der Chemie 12 Bd. S. 154.

IX. Vorstellungsarten der Physiker über das eigentliche Wesen der el. Materie und jetziger Standpunct der Elektricitätslehre in dieser Hinsicht.

In der letzten Abtheilung haben wir die Theorie der el. Erscheinungen nur im Allgemeinen und zunächst blofs aus dem Gesichtspuncte einer bewegenden Kraft betrachtet, um die Gesetze der Anziehung und Abstofsung, der Leitung, Vertheilung u. s. w. aus dem Wesen dieser Kraft nach den beiden Hauptansichten begreiflich zu machen. Aber eine Menge von Verhältnissen bleiben noch zu erklären, die nur dadurch klar werden können, dafs auch das Specifische dieser Kraft etwas näher bestimmt wird. Wovon hängen die Geruchs- die Geschmacks-, die Wärme- und Lichtserscheinungen ab, die in so vielen Fällen jene el. Bewegungen begleiten; wie wird das Hervortreten bald der negativen, bald der positiven E. durch die Beziehung der besondern Natur der Körper auf das innere Grundwesen der E. und auf das Verschiedene in diesem Grundwesen zweier Elektricitäten bestimmt; welchen Antheil haben die übrigen Inponderabilien an der Entstehung und Zusammensetzung der E.; in welcher Verwandtschaft und Abhängigkeit stehen sie überhaupt mit und von einander; wie hat man sich das 0 zu denken, welches nach der dualistischen Theorie aus zwei Realitäten, aus einem eben so positiven — als positiven + besteht u. s. w., alles das sind Fragen und Aufgaben, die sehr frühzeitig den Scharfsinn der Physiker in Anspruch genommen haben, und worüber die Hypothesen viel mannigfaltiger und von einander abweichender ausfallen mufsten, als jene allgemeinen Bestimmungen, die nur zwei Partheien zuliefsen. Zur Vervollständigung dieses die E. überhaupt betreffenden Artikels wird es daher nothwendig seyn, von diesen verschiedenen Theorien, soferne sie durch den Namen des Erfinders und ihren innern Gehalt Anspruch auf ein allgemeines Interesse haben, wenigstens die Hauptumrisse zu geben, und sie mit wenigen Noten kritisch zu beleuchten.

Die ältesten Beobachter hielten die el. Materie für einen *ölichten Ausflufs* aus den Körpern selbst; als man aber ihr Licht, ihren Funken, ihre zündende Kraft u. s. w. bemerkte, war es sehr natürlich, sie dem *Feuer* ähnlich zu finden, und daher kommt die Benennung des el. Feuers, welche bei den

physikalischen Schriftstellern seit Gray's Zeiten so gewöhnlich geworden ist. So sehr nun verschiedene Wirkungen der E. mit den Wirkungen des Feuers übereinstimmen, so konnte doch auch selbst dem oberflächlichen Beobachter die Verschiedenheit zwischen diesen beiden Kräften nicht entgehen, auch wenn er nur darauf Rücksicht nahm, daſs oft in den Körpern viel Feuer oder Wärme anzutreffen ist, ohne daſs sie einen eigentlichen Grad der E. zeigen, daſs das Feuer durch alle bekannte Körper hindurch dringt und sich nach gewissen Verhältnissen der besondern Natur dieser Körper durch ihre ganze Masse verbreitet, da hingegen die freie el. Materie die längsten Leiter mit einer auſserordentlichen Geschwindigkeit durchströmt, daſs endlich die el. Materie Anziehungs- und Abstoſsungs Erscheinungen aus der Ferne hervorbringt, die in der Sphäre der Feuer- oder Wärmeerscheinungen ganz fehlen.

Achard [1] hat jedoch mehr die Aehnlichkeiten der E. mit der Wärme als ihre Verschiedenheiten aufgefaſst, und in einer eigenen Abhandlung zusammengestellt. Er bemerkt, daſs alles Reiben sowohl E. als Wärme errege, daſs Wärme sowohl als E. die Körper ausdehne, die Vegetation und Ausdünstung befördere und den Umlauf des Bluts beschleunige, daſs beide das Ausbrüten der Eier bewirken, Metalle schmelzen und sich gleichförmig durch die Körper zu verbreiten streben, daſs endlich eben die Körper, welche die Wärme am schnellsten annehmen und verlieren, auch die E. am schnellsten annehmen und leiten. Wie manches Irrige indeſs in dieser Zusammenstellung liege, ergiebt sich aus einer Vergleichung mit den bisher mitgetheilten Erfahrungen.

Dr. Priestley [2] findet, daſs der el. Funke, wenn er in verschiedene Luftgattungen geht, einerlei Wirkungen mit einem zugesetzten Phlogiston hervorbringe, und nimmt diesem gemäſs an, daſs die el. Materie entweder das *Phlogiston* selbst sey oder dergleichen enthalte. J. F. Mayer [3] hält dagegen seine fette Säure für den Hauptbestandtheil der el. Materie, die

1 Mém. de l'academie de Prusse 1779.

2 Observ. on different Kinds of air. Vol. II. Sect. 13.

3 In seiner zu ihrer Zeit nicht uninteressanten Schrift: Chemische Versuche zur nähern Erkenntniſs des ungelöschten Kalks, der elastischen und el. Materie 2. verb. Aufl. Hannover 1770.

beim Reiben des Glases, das einen ansehnlichen Vorrath davon enthalte, aus demselben heraustrete. Beide Ansichten beruhten auf chimärischen Vorstellungen, die längst widerlegt sind, und trugen auch damals nichts zur weitern Aufklärung der Elektricitätslehre bei. Henly [1] sieht die el. Materie für eine besondere Modification eben desjenigen Grundstoffes an, der im Zustande der Ruhe *Phlogiston*, bei gewaltsamer Bewegung aber *Feuer* genannt werde. Er beruft sich darauf, daſs beim Reiben solcher Körper, welche verschiedene Mengen von Phlogiston enthalten, diejenigen, welche viel Phlogiston enthalten (z. B. vegetabilische Materien) die el. Materie abgeben, d. h. negativ el. werden, daſs hingegen diejenigen, welche wenig Phlogiston enthalten (z. B. animalische Materie) el. Materie annehmen, d. i. eine positive E. erhalten. Henly hat zahlreiche Versuche angestellt, welche zu diesem Resultate führten [2]. Da indeſs die bloſse Abänderung der Oberfläche eines Körpers sein el. Verhalten beim Reiben ändert, so ist kaum abzusehen, wie der gröſsere oder kleinere Gehalt von Phlogiston, wenn man auch diesen bloſs hypothetischen Stoff zugeben wollte, den negativen oder positiven Charakter eines Körpers bestimmen solle. Auch steht dieser Ansicht der Umstand entgegen, daſs in der wechselseitigen Berührung gerade die am meisten verbrennlichen oder am meisten oxydirbaren Metalle, die also in Henly's Vorstellungsart am meisten Phlogiston enthalten, die positiven sind. Endlich giebt diese Theorie, die nur *eine* el. Materie annimmt, keine Rechenschaft von den specifischen Eigenschaften der negativen E.

Alle diejenigen Physiker, welche zwei verschiedene el. Materien annahmen, muſsten von selbst darauf geführt werden, Gegensätze, welche sich auch sonst in der Natur in andern Processen und zwischen andern Materien zeigen, zur Aufklärung des el. Gegensatzes zu gebrauchen und in den el. Materien gleichsam eine Potenzirung und Verfeinerung dieser Gegensätze zu suchen. So nimmt zuerst Wilke in den beiden el. Materien einen Gegensatz zwischen Feuer und Säure an, und hat auch in seinen oben angeführten Abhandlungen statt der Bezeichnungen + E und — E stets die Namen Feuer und Säure

1 Cavallo vollst. Abh. I. Bd. S. 108.

2 Philos. Transact. für das Jahr 1777.

gebraucht. Doch lag hierin nur eine Ahnung, die erst die neusten Zeiten zur Reife bringen konnten. Dieselbe Bewandniſs hat es mit Kratzensteins damit verwandter Vorstellungsart [1]. Er nennt + E die acide, — E die phlogistische E. und leitet alle el. Erscheinungen von Dunstkreisen her, die aus feinen Theilen des Acidums und des Phlogistons, d. i. aus schwefligen und phosphorischen Ausflüssen bestehen, die aus den Körpern herausgetrieben und in eine zitternde Bewegung versetzt werden. Lichtenberg [2] giebt von dieser Theorie einen sehr lehrreichen Auszug mit seinen Bemerkungen begleitet. Karsten [3] nimmt den Stoff der + E für reine, mit Elementarfeuer gesättigte, Luft, den des — E für das an eine zarte Säure gebundene Phlogiston, und erklärt hieraus die Hauptgesetze der E. sinnreich in völliger Uebereinstimmung mit Crawford's Theorie der Verbrennung. Er glaubte das Daseyn jener 4 Materien unwidersprechlich in dem Conflicte der beiden el. Materien nachweisen, und diesen Conflict selbst genügend aus der wechselseitigen Anziehung dieser Materie begreiflich machen zu können. Beim el. Funken zieht seiner Erklärung zufolge das Feuer die Säure, die Luft das Phlogiston an; alle diese Stoffe verlassen ihre vorigen Verbindungen, das Feuer vom Phlogiston getrennt, wird frei und als ein Funken sichtbar, die Säure röthet die Lakmustinctur, und die Luft wird plogistisirt. Schade daſs neuere genaue Untersuchungen zu einer ganz andern Ableitung dieser Erscheinungen geführt haben, da nicht eine der E. inhärirende Säure, sondern die Salpetersäure, die sich durch Verbindung des Stickstoffs der Luft, durch welche der Funken schlägt, mit dem Sauerstoff derselben bildet, die Röthung der Lakmustinctur bewirkt, die eingebildete Phlogistication auch weiter nichts als auf einer Bindung des vorher freien Sauerstoffs in der gebildeten Salpetersäure beruht, womit nothwendig ein Uebergewicht von Stickgas (damals sogenannter phlogistisirter Luft) in der rückständigen Luft gegeben ist, endlich der Funken, so wie er sich darstellt, mit gewöhnlichem Feuer nicht zu verwechseln ist.

---

1 Vorles. über die Exper. Phys. 4. Aufl. Copenh. 1781. 8.
2 Magazin für das Neueste aus der Physik. I. Bd. 4 St. S. 113.
3 Anl. zur gemeinnützigen Kenntniſs der Natur §. 497.

Ohngefähr auf dieselbe Weise äufsert sich Forster [1], indem er das + E für Feuer oder Wärme, das — E für Brennbares oder Phlogiston erklärt. Indem aber Forster in seinen einleitenden Bemerkungen zu dieser Hypothese der damals herrschenden Crawford'schen Verbrennungstheorie gemäfs das Phlogiston und die Wärmematerie (das Feuer) als zwei einander entgegengesetzte Grundstoffe betrachtet, die sich wechselseitig aus den Körpern austreiben, so steht offenbar diese Hypothese mit allen el. Phänomenen, welche vielmehr eine grofse wechselseitige Anziehung der beiderlei Elektricitäten beweisen, in geradem Widerspruche, wozu dann noch kommt, dafs gar nicht abzusehen ist, warum dieselbe Wärmematerie, die sonst die Körper durchdringt, hier als positive E. sich nur längs ihrer Oberfläche verbreitet und anhäuft, ohne in ihr Inneres einzudringen.

Bedeutender ist De Lüc's Theorie der el. Phänomene, da sie nicht blofs in einer vagen, mehr allgemein gehaltenen, Idee besteht, sondern von dem sinnreichen Verfasser auf die Erklärung der wichtigsten el. Phänomene mit Genauigkeit angewandt worden ist, und im eigentlichsten Verstande nur einen Zweig eines weit ausgebreiteten Systems ausmacht, welches jener Physiker über die Erscheinungen der sämmtlichen ausdehnbaren Flüssigkeiten entworfen, und auf die mechanisch-physischen Grundsätze seines berühmten Lehrers le Sage in Genf gegründet hat. Diese Grundsätze, welche alles auf Stofs und Bewegung zurückführen, haben freilich ein sehr cartesianisches Ansehen, und können dem unbefangenen Physiker, dem es nach Newton's Beispiele mehr um erwiesene Thatsachen und Gesetze, als um willkürliche Hypothesen, die in ihren Voraussetzungen über die Grenze unserer unmittelbaren Wahrnehmung hinausgehen, kein grofses Interesse einflöfsen. Inzwischen ist nicht zu leugnen, dafs de Lüc durch eben diese mechanische Physik oft auf sehr scharfsinnige und bisweilen auffallend glückliche Erklärungen schwieriger Phänomene geleitet wird — noch mehr, es ist sonderbar, dafs seine aus einem so ganz mechanischen Anfange hergeleiteten Theorien dennoch eine für die chemische Untersuchung ungemein günstige Wen-

---

1 Crell's neueste Entdeckungen. 12 Bd. S. 154.

2 Vergl. *Flüssigkeiten, expansible.*

dung nehmen. In dieser Hinsicht hat auch die de Lüc'sche Ansicht der E. ihren unverkennbaren Werth, indem sie Zersezzung und Zusammensetzung des el. Fluidums zu Hülfe nimmt, und eine Betrachtung der Erscheinungen in dieser Beziehung vielleicht zu einer nähern chemischen Kenntniſs dieses räthselhaften Stoffs führen kann, ohne welche die wichtigsten Beziehungen der el. Thätigkeit in den Natur-Processen, besonders in den galvanisch-chemischen, stets im Dunkel begraben bleiben werden.

Die Hauptidee der De Lüc'schen Hypothese [1] ist, daſs er zwar nur *eine* el. Materie annimmt, diese aber als eine zusammengesetzte betrachtet und in den el. Phänomenen sich einerseits zersetzen, andererseits wieder aus ihren Bestandtheilen zusammensetzen läſst, wodurch er gleichsam in der Mitte zwischen dem Franklin'schen und dualistischen Systeme steht. Diese eine el. Materie sieht er als eine zur Classe der Dämpfe oder Dünste gehörige an, bei welcher sich also alle diejenigen Bestimmungen nachweisen lassen müssen, welche für die Dünste im allgemeinen gelten; und da die Natur des Wasserdampfes in dieser Hinsicht am meisten aufgeklärt ist, so sucht DE LÜC durch eine durchgreifende Vergleichnug der el. Meterie mit dem Wasserdampfe nach allen Praedicamenten auch die Natur der ersteren in ein helleres Licht zu stellen. Daraus ergeben sich nun folgende Sätze:

1. Das el. Fluidum besteht wie der Wasserdampf aus einem *fortleitenden* (gleichsam expandirenden) *Fluidum* (fluide déferent), das er das el. fortleitende Fluidum nennt, und aus einer *bloſs schweren Substanz* der eigentlich el. Materie.

2. Es zersetzt sich eben so wie der Wasserdampf durch Druck (den es gleichsam auf sich selbst ausübt), wenn es eine allzugroſse, sein Maximum überschreitende, Dichtigkeit erhält, wo alsdann sein fortleitendes Fluidum frei wird. Auf dieser Eigenschaft beruht die Erscheinung des el. Lichtes, welches

1 Neue Ideen über die Meteorologie. Berl. und Settin 1787. 1. Thl. S. 186. ff. nach welcher hier die Hauptsache kurz mitgetheilt wird. Vergl. auch Lampadius Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre, Berl. und Stettin 1793. Kap. II. §. 20 u. f.; ferner de Lüc's 5ten Brief an Herrn de la Métherie über das el. Fluidum in Gren's Journal der Physik IV. Band S. 91. und De Lüc Introduction à la Physique terrestre Tome. I. II.

als ein Bestandtheil des frei werdenden fortleitenden Fluidums bei der Zersetzung hervorgeht, eben so wie das Licht (das fortleitende Fluidum in der Wärme) beim Verbrennen (durch eine Zersetzung des sehr verdichteten Wärmedampfs) zum Vorschein kommt.

3. Das Feuer als fortleitendes Fluidum des Wasserdampfs verläſst das Wasser in Folge seines Strebens nach gleichförmiger Verbreitung (nach gleicher Temperatur). Eben so, nur weit schneller, verläſst das fortleitende el. Fluidum die el. Materie, um zu den Körpern hinzuströmen, welche verhältniſsmäſsig weniger davon besitzen.

4. So wie das Feuer der Wasserdämpfe alle Körper durchdringt, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und sein Wasser auf der Oberfläche derselben absetzt, eben so, aber augenblicklich, durchdringt das el. fortleitende Fluidum alle Körper, um sein Gleichgewicht wieder herzustellen und setzt gleichfalls seine el. Materie auf den Körpern ab, die es durchdringt, aber mit einem auf der Natur der Substanzen, beruhenden Unterschiede.

5. Gebundenes oder latentes Feuer und Wasser in den Dünsten geben sich nicht mehr durch ihre vorigen Eigenschaften zu erkennen, äuſsern aber dennoch ihre Verwandtschaften, wodurch sie die hygroskopischen Erscheinungen erzeugen. Auch die Bestandtheile des el. Fluidums behalten bei ihrer Verbindung ihren Hang und ihre Verwandtschaften zu andern Substanzen, welches die Ursache der meisten el. Erscheinungen ist.

6. Das Wasser und die el. Materie, die vorzüglich ihre Verwandtschaften behalten, sind einander auch darin ähnlich, daſs so wie das Wasser diese Verwandtschaft in den hygroskopischen Phänomenen ohne Wahl äuſsert, eben so auch die el. Materie ohne Wahl ihre Verwandtschaft zu andern Substanzen zeigt.

7. Wenn das Feuer eine Masse von Wasserdünsten verläſst, um das Gleichgewicht der Temperatur wieder herzustellen, so bleibt dennoch etwas an dem Orte, wo das meiste dieser Dünste ist, aber ein Theil dieses Fluidums wird latent; ebenso, wenn das Gleichgewicht des fortleitenden el. Fluidums in den benachbarten Körpern wieder hergestellt ist, enthalten diejenigen, welche verhältniſsmäſsig mehr el. Materie haben das meiste von diesem fortleitenden Fluidum, aber dieser Ueberschuſs ist gleichfalls in dem el. Fluidum verborgen.

8. So wie die ausdehnende Kraft zweier Massen von Wasserdämpfen im Gleichgewicht seyn kann, obgleich die eine weniger Wasser als die andere im Verhältniſs mit ihrem Volumen enthält, wenn bei letzterer zugleich die Menge des Feuers gröſser ist, eben so kann die ausdehnende Kraft (die Intensität oder Spannung) zweier Massen des el. Fluidums im Gleichgewichte seyn, obgleich die eine eine geringere verhältmäſsige Menge el. Materien besitzt, wenn nur zu gleicher Zeit die Menge ihres fortleitenden Fluidums gröſser ist. Die vorzüglichsten *Unterschiede*, worin das el. Fluidum von den Wasserdämpfen abweicht, sind folgende:

1. das Feuer, welches die Wasserdämpfe verläſst, um das Gleichgewicht der äuſseren Temperatur herzustellen, wird nicht durch andere Substanzen angezogen, sondern dehnt sich so lange aus, bis es im Gleichgewichte ist. Das el. fortleitende Fluidum hingegen, welches seine el. Materie verläſst, wird zu dieser Bewegung durch seinen Hang zu allen Substanzen bestimmt, und weil in diesem Augenblicke eine benachbarte weniger davon besitzt, als diejenige, wovon es sich trennt.

2. die Verwandtschaft des Wassers, wodurch eine Zersezzung des Wasserdampfes bewirkt wird (oben N. 6), bezieht sich nur auf die hygroskopischen Substanzen, statt daſs die analoge Verwandtschaft der el. Materie alle Substanzen betrifft, selbst die Dämpfe und luftförmigen Flüssigkeiten.

3. Die Verwandtschaft des Wassers gegen hygroskopische Substanzen äuſsert sich nur dann, wenn es dieselben berührt, die el. Materie hingegen äuſsert ihren Hang zu allen Substanzen schon in Entfernungen, welche nach der verschiedenen Beschaffenheit der Körper verschieden sind.

4. Da jede el. Lichtentwickelung nach de Lüc von einer Zersetzung der E. abhängt, dessen fortleitendes Fluidum frei wird, so liegt zwischen beiden auch darin eine Verschiedenheit, daſs das el. Fluidum durch die bloſse Ausbreitung im leeren Raume sich zersetzt, ohne daſs man hierbei einen Druck, den es in Folge der Verdichtung auf sich selbst ausübt, annehmen könnte, während die Wasserdämpfe sich unter sonst gleichen Umständen im leeren Raume nicht anders wie im lufterfüllten Raume verhalten.

De Lüc hat diese allgemeine Theorie sehr sinnreich auf die Erklärung der wichtigsten Wirkungsformen der E. ange-

wandt, insbesondere der Erscheinungen der Vertheilung und der davon abhängigen verstärkten E. in dem Vorgange der Ladung [1]. Im Allgemeinen erklärt er die Erscheinungen der el. *Wirkungskreise*, oder wie er sie nennt, der el. *Einflüsse*, von welchen die Vertheilung abhängt, auf folgende Weise. Positive und negative E. unterscheiden sich durch verhältnifsmäfsigen Ueberflufs und Mangel an el. Materie bei übrigens gleicher ausdehnender Kraft, oder positive E. ist das Analogon von dichterem Wasserdampf, der also, bei gleichen Volumen mehr von der schweren Materie hat, als der dünnere Wasserdampf, welcher mit der negativen E. überein kommt, und um jenem das Gleichgewicht zu halten, eine gröfsere Menge fortleitendes Fluidum besitzen mufs. Doch kann nach seinem System ein Körper auch dadurch positiv el. werden, dafs sich überhaupt mehr el. Fluidum an seiner Oberfläche angehäuft hat, als seinem natürlichen Zustande zukommt. Wenn nun in den Wir-
Fig 34. kungskreis des positiv elektrisirten Leiters P C der isolirte Leiter A B kommt, so wird sein fortleitendes Fluidum in denselbe überströmen nach dem allgemeinen Gesetze des Strebens desselben nach Gleichgewicht, aber das Ende A ist dieser Wirkung mehr als B ausgesetzt, daher wird die dem Leiter A B eigene el. Materie bei A mehr ausdehnende Kraft als bei B erhalten; da aber hier nichts ist, was sie hinderte, sich ins Gleichgewicht zu setzen, so wird sie sich so vertheilen, dafs die ausdehnende Kraft durch die ganze Länge A B gleich grofs is woraus dann nothwendig folgt, dafs bei A mehr fortleitende Fluidum und weniger Dichtigkeit der el. Materie, bei B hin gegen weniger fortleitendes Fluidum und mehr Dichtigkeit de Materie Statt finden mufs. Daher zeigt unter diesen Umstände A, — E; B, + E. Um diesen Vorgang durch die Analog mit den Wasserdämpfen noch deutlicher zu machen, vergleic man A B mit Wasserdämpfen in einem verschlossenen Gefäfs die von C aus durch ein heftiges Feuer erhitzt werden. A fangs werden die Dämpfe durch den ganzen Raum A B gleic förmig verbreitet seyn. Wenn aber nun das Feuer von C h wirkt, so wird das Ende A heifser als B, und die Dämpfe in erhalten mehr Elasticität. Sie dehnen sich also aus, und drü ken dagegen die in B mehr zusammen, so dafs sich bei A w

1 Vergl. *Flasche, elektrische*.

niger, bei B mehr Dichtigkeit oder Wasser (schwere Materie) befindet, die Hitze aber umgekehehrt bei A grösser als bei B ist. In diesem Zustande ist bei A mehr Trockenheit (— E), bei B mehr Flüssigkeit (+ E) anzutreffen, die Elasticität ist aber gleich groſs an allen Stellen des ganzen Gefäſses A B. Nach diesen Begriffen besteht die ganze Erscheinung der el. Wirkungskreise in dem Ueberströmen oder der Fortpflanzung des el. fortleitenden Fluidums, welches sich eben so, wie der freie Wärmestoff, durch alle Körper bis zu einem gewissen Gleichgewichte zu vertheilen strebt, und die schwere el. Materie vermöge seiner Verwandtschaft da mit sich nimmt, wo sie frei ist, oder schwächer zurückgehalten wird, da aber zurückläſst, wo sie durch ihre Verwandtschaft stärker an andere Körper gefesselt ist. Weil das Medium dieser Fortpflanzung gemeiniglich die Luft ist, so hat diese auf die Erscheinungen der Wirkungskreise allerdings einen bedeutenden Einfluſs, denn ein jeder Körper besitzt z. B. nur insofern + E, als er einen Ueberschuſs an el. Materie in Vergleichung mit der umgebenden Luft hat, und insofern — E, als er in Vergleichung mit eben dieser Luft an el. Materie Mangel leidet. Dieser Einfluſs oder diese Mitwirkung der Luft, oder überhaupt des umgebenden Mediums äuſsert sich nun ganz besonders bei den durch die E. veranlaſsten Bewegungen der wägbaren Körper, und nur durch Hülfe desselben kann das de Lüc'sche System Rechenschaft davon geben, die uns indeſs nicht vollkommen genügend scheint, wenn gleich de Lüc durch eine groſse Menge mannigfaltig abgeänderter Versuche [1] und sehr scharfsinniger Erörterungen derselben gerade von dieser Seite seine Theorie in ein besonders günstiges Licht zu stellen vermeint hat.

Das Eigenthümliche und Unterscheidende der de Lüc'schen Erklärung liegt darin, daſs derselbe keine Repulsivkraft zu Hülfe nimmt, sondern alles auf bloſse Anziehung und zwar in den meisten Fällen auf eine solche, die auf das umgebende Mittel gerichtet ist, zurückführt. Um diese Erklärung gehörig zu begreifen und zu würdigen, muſs man von dem Hauptsatze ausgehen, daſs diese Anziehungen einzig an die Menge der (vom el. Fluidum wohl zu unterscheidenden) el. Materie, welche die Körper besitzen, gebunden sind. Die el. Materie, die

1 Im dem VII. Abschnitte. Von den el. Bewegungen.

einem Körper zugehört, widersteht nämlich der Trennung von demselben, obgleich sie fortfährt, sich nach andern Körpern, die davon weniger besitzen, *hinzuneigen*, jedoch geschieht dieses in einigem Verhältnisse mit der Entfernung schwächer. Der positive und der negative Zustand der Körper mit Beziehung auf das umgebende Mittel, das selbst nicht aus seinem natürlichen Zustande getreten ist, sofern beide Bewegungen veranlassen, beziehen sich nicht auf das ganze el. Fluidum, sondern auf die el. Materie, welche einen Theil davon ausmacht, oder anders ausgedrückt, sie zielen nicht auf den Grad der *ausdehnenden Kraft* des el. Fluidums, welche nach DE LÜC nur von dem Verhältnisse des fortleitenden Fluidums abhängt, sondern nur auf die Dichtigkeit, d. h. die verhältnifsmäfsige Menge, der el. Materie an einer gegebenen Oberfläche, und die mannigfaltigen Modificationen der von der E. abhängigen Bewegungen frei beweglicher Körper, welche von einander divergiren, oder zusammenfallen und sich aus Entfernungen anziehen, sind stets den Veränderungen proportional, welche die Dichtigkeit des el. Fluidums in den Körpern selbst erleidet in Vergleich mit der wirklichen Dichtigkeit des el. Fluidums in dem umgebenden Mittel. Wenn also zwei frei bewegliche Körper, noch unbeweglich, weil sie in demselben el. Zustande mit dem umgebenden Mittel sind, eine gleiche Menge el. Fluidums erhalten oder verlieren, so könnte diese Veränderung des Zustandes an und für sich und bei ihnen allein betrachtet, noch keine Ursache der Bewegung seyn, weil diese Körper, was die Menge der el. Materie betrifft, immer im Gleichgewichte bleiben; wenn man sie aber als von Luft umgeben ansieht, so findet man alsdann eine Ursache der Bewegung. Die Lufttheilchen, welche die Seiten berühren, die die Körper einander gegenseitig zukehren, haben eine doppelte Ursache der Modification, weil diese *beiden* Seiten dazu beitragen, diese Theilchen empfangen oder verlieren, also doppelt el. Materie erhalten, anstatt dafs die Lufttheilchen, welche an ihre entgegengesetzten Seiten anstofsen, hier nur durch jede dieser Seiten für sich allein modificirt werden. Der Zustand eines jeden dieser beiden Körper ist also dieser: Auf einer seiner Seiten befindet sich der andere Körper und die Luft dazwischen, wovon jener, und die Luft nahe dabei, in demselben el. Zustande mit ihm ist, während auf der entgegengesetzten

Seite die Luft nur schwach durch ihn selbst modificirt wird; folglich strebt jeder Körper mehr gegen diese äufsere Seite als gegen die innere durch Anziehung, in dem einen Falle, bei negativ elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts der el. Materie der Luft, in dem andern Falle, bei positiv elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts ihrer el. Materie, und dadurch entfernen sie sich von einander (scheinbares Abstofsen gleichartig elektrisirter Körper nach dem ersten Fundamentalgesetze der el. Bewegungen.) Ist einer der beiden Körper positiv, der andere negativ el., so haben sie unmittelbar in sich selbst eine Ursache der Bewegung, nämlich den Mangel des Gleichgewichts der el. Materie unter ihnen. Die Luft setzt aber hier eine neue Ursache hinzu, denn jeden der beiden Körper modificirt sie auf der äufsern Seite nach seinem besondern Zustande, statt dafs auf der innern Seite einer die Wirkung des andern zerstört, daher streben sie um so weniger sich gegen die auswendige Luft zu bewegen, und um so vielmehr gegen die innere. Dieses vermehrt ihren Hang gegen einander, und sie nähern sich (zweites Gesetz: ungleichartig elektrisirte Körper ziehen sich an). Was den dritten Hauptfall betrifft, wo nämlich nur einer der Körper elektrisirt ist, wo also der andere im Zustande des Mediums verbleibt, so müssen sie sich eben dieser Theorie zufolge schwach gegen einander bewegen, weil die el. Materie nicht unter ihnen im Gleichgewichte ist, und die Luft, indem sie denselben Zustand um den el. Körper umher annimmt, nichts in der unmittelbaren Ursache ihres Hanges ändert, aber eben darum, weil die Luft nichts hinzusetzt, kann dieser Hang nur schwach seyn. In der Wirklichkeit ändert sich jedoch dieser Fall nach dem Gesetze der *el. Einflüsse* in den Dritten um, indem der nicht elektrisirte Körper, vorzüglich wenn er ein Leiter ist, sich auf eine entgegengesetzte Art an seiner entgegengesetzten Oberfläche verändert, und er sich alsdann bewegt, weil sein Theil, der dem elektrisirten Körper am nächsten ist, sich mehr bestrebt, ihm sich zu nähern, als der entgegengesetzte Theil sich davon zu entfernen.

Noch hat de Lüc in eben diesem Abschnitte seine Theorie auf die Erklärung einiger sonderbaren el. Bewegungen angewandt, die dem ersten Anscheine nach so wenig aus der Franklin'schen als der dualistischen in ihrer gewöhnlichen Gestalt begreiflich sind, wobei aber de Lüc selbst in Irrthümer verfallen

ist. Ich will einen dieser Versuche hier kritisch beleuchten, weil er zugleich dazu dient, de Lüc's Theorie in ein noch helleres Licht zu setzen. Mit einer auf einem isolirenden Fuſse vertical aufgerichteten metallenen Scheibe B von etwa 8 Zoll im Durchmesser befinden sich an ihrer vordern und hintern Fläche zwei Paar Elektrometer verbunden, deren Kugeln von hohlem Metallblech von etwa 2″ Durchmesser von isolirenden Armen getragen werden, die sie in der Höhe des Mittelpunctes der Scheibe halten, an Trägern in einer mit der Ebene der Scheibe parallelen Ebene frei beweglich, die vordern überdieſs noch durch lackirte Glasstäbchen, von denen sie getragen werden, isolirt, aber mit der andern Fläche der Scheibe B in unmittelbarer leichter Berührung, die hintere an Strohhälmchen aufgehängt, in einer geringen Entfernung von der hintern Fläche der Scheibe, aber durch einen Metalldraht mit dem obern Rande derselben verbunden. Nähert man nun der Scheibe B die sich mit ihren zwei Paar Elektrometern im natürlichen Zustande befindet, eine gleichfalls isolirte Scheibe A in gleicher Höhe der Mittelpuncte in paralleler Richtung mit B, welche stark positiv elektrisirt ist, so divergiren die beiden Paar Kugeln, und zwar nach de Lüc's Behauptung die vordern mit negativer, die hintern mit positiver E. Berührt man die vordern Kugeln, so geben sie einen eben so starken Funken als jeder andere Theil ihrer Gruppe (nämlich der Scheibe B mit ihren Elektrometern), und zwar divergiren sie alsdann noch mehr, weil sie negativer geworden sind, und sie fahren fort zu divergiren, ob man sie gleich in Verbindung mit dem Boden durch kleine leitende Drähte setzt, die ihre Bewegung nicht hindern. In dem Augenblicke, daſs man den Funken aus den vordern Kugeln, oder aus jedem andern Theile der Gruppe, nimmt, fallen die hintern Kugeln zusammen, und divergiren von neuem, weil sodann die ganze Gruppe negativ geworden ist. In diesem Augenblicke ist die ausdehnende Kraft der el. Flüssigkeit aller Theile der Gruppe auf einerlei Grade mit der des el. Fluidums im Boden, denn welchen Theil der Gruppe man auch berührt, wird in seinem Zustande nichts geändert. Inzwischen divergiren die beiden Paar Kugeln, weil die gesammte Dichtigkeit des Fluidums der Gruppe geringer ist, als die des el. Fluidums des Bodens und umgebenden Mittels, und eines divergirt mehr als das andere, weil dieser Unterschied der Dichtigkeit bei dem einen

gröfser ist, als bei dem andern. Hier verwechselt aber DE LÜC zwei Wirkungen, die ganz verschiedene Ursachen haben. Das vordere Paar Kugeln divergirt offenbar durch die unmittelbare Wirkung der Scheibe A, die mit ihren ausgebreiteten Seitentheilen ein Uebergewicht über die Mitte, welcher die Kugeln gegenüber stehen, ausübt, und also die Kugeln so weit von einander entfernt, bis die Anziehungen nach allen Seiten hin im Gleichgewichte mit einander stehen. Eben darum hat es nichts Auffallendes, dafs diese Divergenz auch noch fortdauert, wenn diese Kugeln durch leitende Fäden mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt werden, während es mit allen Versuchen in directem Widerspruche steht, dafs die Divergenz zweier gleichnamig el., und zunächst nur durch ihre eigene E. aus einander gehaltener Körper fortdaure, wenn eine Verbindung zwischen ihnen und dem Erdboden eingeleitet wird. Auch streitet es mit allen anerkannten el. Erfahrungen, dafs die Körper, die bereits negativ el. sind, wenn ihnen ein mit dem Erdboden verbundener Leiter genähert wird, durch den zwischen ihnen überschlagenden Funken noch *negativer* werden sollten, wie DE LÜC von dem vordern Paare von Kugeln voraussetzt. Es findet hier allen Versuchen zufolge keine andere Wechselwirkung statt, als eine Verminderung des negativen Zustandes durch einen positiven Funken. Allerdings geben die Kugeln in jenem Versuche einen Funken, weil sie mit der ganzen Gruppe in leitender Verbindung stehen, die sich an jedem Puncte der von der positiven Scheibe A frei gemachten und in Spannung versetzten positiven E. zu entledigen sucht, und da die vordern Kugeln zugleich die mehr nach ihrer äufsern Seite zurückgetriebene positive E., welche der Anziehung von den Seitentheilen der Scheibe A entgegenwirkte, in diesem Funken mit verlieren, so können sie dann von jenen Seitentheilen noch etwas mehr nach Aufsen gezogen werden, d. h. ihre Divergenz mufs etwas zunehmen. Dafs die hintern Kugeln im Augenblicke, da die Gruppe berührt wird, zusammenfallen, ist eine nothwendige Folge der Entziehung (oder Ausgleichung) ihrer positiven E., durch welche sie vorher divergirten, dafs sie aber dann nachher wieder, wenn gleich schwächer als die vordern Kugeln, divergiren, ist abermals blofs eine Wirkung der Anziehungskraft der positiven Scheibe A, welche gleichfalls wegen der gröfseren Ausbreitung ihrer Seitentheile diese Kugeln etwas seitwärts zie-

hen muſs, aber freilich in geringerem Grade, als das vordere Paar, weil ihre Wirkung aus gröſserer Entfernung auf sie ausgeübt wird. So sind also alle Modificationen dieser Bewegungen aus der von uns oben entwickelten Theorie vollkommen begreiflich, und man hat nicht zu jenen auſserordentlichen Annahmen seine Zuflucht zu nehmen, die mit allen Versuchen im Widerspruche stehen, daſs Körper, welche durch eigene E. divergiren, diese Divergenz auch noch behaupten, wenn sie gleich mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden.

Ueberhaupt stellen sich der de Lüc'schen Theorie, so sinnreich sie auch die Analogie der Wasserdämpfe angewandt hat, aus dieser selbst nicht unerhebliche Schwierigkeiten entgegen. Wenn in ein verschlossenes Gefäſs voll Wasserdämpfe, womit de Lüc einen Leiter vergleicht, neue Feuermaterie einströmt, so findet allerdings im ersten Augenblicke ein Unterschied der Dichtigkeit bei gleicher ausdehnender Kraft in den verschiedenen Theilen des Gefäſses statt, indem auf der Seite des Einströmens der Dampf dünner, auf der entgegengesetzten Seite dichter werden wird; doch findet, wenn nicht dieses Einströmen ununterbrochen fortdauert, sehr schnell eine Ausgleichung statt, und das Gefäſs wird überall Wasserdampf von gleicher Dichtigkeit enthalten. Dasselbe sollte auch statt finden, wenn ein im natürlichen Zustande befindlicher Leiter in den Wirkungskreis eines positiven versetzt wird. Letzterer kann offenbar nur ein gewisse Menge fortleitendes Fluidum an jenen abgeben, im ersten Augenblicke wird also das el. Fluidum an dem zunächst gelegenen Ende des Leiters gleichsam verdünnt werden (das Ende wird —), und nach dem entgegengesetzten Ende el. Materie sich anhäufen (das Ende wird +), aber in sehr kurzer Zeit müſste sich doch das fortleitende Fluidum mit der el. Materie im ganzen Leiter ins Gleichgewicht setzen, und dieser Unterschied der Dichtigkeit aufhören, welchem indeſs die Erfahrung widerspricht. Ich übergehe hier noch manche andere Schwierigkeiten, die sich besser unter andern Artikeln namentlich *Elektrophor* und *Flasche*, auf deren Erklärung de Lüc seine Theorie sehr sinnreich angewandt hat, entwickeln lassen. Gerade da, wo man den meisten Aufschluſs von de Lüc erwartet, wird man von ihm im Stiche gelassen, nämlich in Betreff der nähern Natur jener beiden Bestandtheile des el. Fluidums. Im XIV. Abschnitte, wo er von den Phänomenen handelt, wo-

bei sich das el. Fluidum zersetzt, reducirt er diese Zersetzung auf das allgemeine Gesetz, wonach sich überhaupt die Flüssigkeiten, mit denen die el. zu einer Classe gehört (die dampfförmigen) zersetzen, nämlich auf Verdichtung, und leitet daraus die Licht- und Feuererscheinungen und den phosphorischen Geruch ab, stellt aber verschiedene Möglichkeiten auf, wie sich deren Erscheinungen erklären lassen, ohne jedoch zwischen ihnen zu entscheiden, nur daſs er bemerkt, daſs das *Licht* für sich allein das fortleidende el. Fluidum nicht ausmache, sondern nur einen Bestandtheil desselben bilde, dessen anderer Bestandtheil vielleicht die *Feuermaterie* seyn könnte, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als nöthig ist, um Wärme zu bilden, woraus dann begreiflich werde, warum beim Entweichen von Licht in dem el. Funken nun auch Wärme auftrete, indem alsdann die beiden Bestandtheile in das zu ihrer Bildung gehörige Verhältniſs getreten sind. Ueber die nähere Natur der eigentlichen el. Materie läſst er uns vollends im Dunkeln.

Kaum verdient die sog. neue Theorie von J. H. Voigt, die dieser sonst verdienstvolle Physiker in einer eigenen Schrift[1] weitläuftig vorgetragen hat, eine Erwähnung, da sie keine neue Causalerklärung enthält, sondern in einem bloſsen Ausdrucke der Phänomene besteht, der von dem Symmer'schen Dualismus, insbesondere wie er von Lichtenberg dargestellt worden ist, nur den Worten nach abweicht. Die Lichtenberg'schen und überhaupt alle folgerichtigen Darstellungen nach dem dualistischen Systeme verwandeln sich buchstäblich in die Voigt'schen Erklärungen, wenn man statt + und — männlichen und weiblichen Stoff, statt Sättigung und Bindung Paarung und Streben nach Paarung setzt. Wenn Bezeichnungen wie + und — positiv und negativ darum ächt wissenschaftliche genannt zu werden verdienen, weil sie auf die strenge Anwendung der Begriffe, welche diese Namen in einer andern Sphäre, nämlich der Mathematik, bezeichnen, auch in der Sphäre dieser Erscheinungen hindeuten, die allerdings nach allem, was in ihnen zeitlich und räumlich (quantitativ) bestimmbar ist, eine solche mathematische Betrachtungsweise zulassen, so erscheinen dagegen aus

---

1 Versuch einer neuen Theorie des Feuers, der Verbrennung, künstlicher Luftarten, des Athmens u. s. w. Jena 1793. 8. auch im gothaischen Magazine für das Neueste u. s. w. IX. Bd. 2. St. S. 110 u. f.

einer so ganz heterogenen Sphäre hergeleitete Benennungen als bloſse Auswüchse eines unwissenschaftlichen Witzes, und es verräth sich sogar ein gänzliches Verkennen der Gesetze des el. Wechselverhältnisses, wenn Voigt an einzelnen Orten sich so erklärt, als wenn das + oder der männliche Stoff zu dem — oder eigenthümlichen weiblichen Stoffe, mit welchem er in dem 0 E oder in der gepaarten E. verbunden war, eine besondere Verwandtschaft habe, und diesen ihm zugehörigen weiblichen Stoff vorzugsweise anziehe. Uebrigens hat Voigt über die nähere Natur dieser nach Paarung strebenden Stoffe uns keine weitere Aufschlüsse verschafft, wenn wir etwa einige Versuche ausnehmen, durch welche er zu beweisen glaubte, daſs die positive Materie stärker, als die negative wirke, Versuche, deren Beweiskraft indeſs durch spätere wieder vernichtet worden sind. Denn wenn Voigt als einen solchen Beweis anführt, daſs wenn man beim Henly'schen allgemeinen Auslader den Finger zwischen den positiven und negativen Knopf halte, man ihn von jeder Seite wie mit Ruthen gepeitscht aber stärker von der positiven Seite her fühle, so ist nicht zu vergessen, daſs von der positiven Seite die Ladung ausgegangen ist, und also sich hier ein relatives Uebergewicht von E., wovon die freie Spannung abhängt, befindet, und dann zeigt sich in den Entladungsversuchen der Volta'schen Säule stets die stärkere und unangenehmere Empfindung auf der negativen Seite. Was aber die Erscheinung der Flamme eines zwischen zwei Drähten stehenden Lichtes betrifft, daſs sie beim Elektrisiren eine fächerförmige Form annehme, aber auf der Seite der negativen E. noch eine Spitze bekomme, wie ein Aderlaſsschnepper, als ob der positive Conductor sanft hineinbliese, so zeigt die oben mitgetheilte Prüfung dieser Phänomene die gänzliche Unzulässigkeit einer solchen Ansicht.

J. G. F. Schrader hat es versucht[1], die nähere Natur der E. weiter aufzuklären. In gewisser Hinsicht hat er de Luc's Ideen zum Grunde gelegt, der Versuch ist aber gänzlich miſsrathen und verräth allenthalben eine groſse Verwirrung der Ideen. *Sauerstoff*, *Lichtstoff* und *Wärmestoff* sollen die Bestandtheile des el. Fluidums seyn, der Lichtstoff gleichsam das fortleitende Fluidum, doch soll der Wärmestoff die E. erst zur

1 Versuch einer neuen Theorie der E. Altona 1796.

strahlenden machen. Uebergewicht des Lichtstoffs macht den Unterschied der positiven und negativen E. Das Daseyn des Sauerstoffs in der E. glaubt er dadurch bewiesen zu haben, daſs Gold auch in irrespirablen Luftarten durch den el. Schlag oxydirt werde, wovon wir übrigens das Gegentheil wissen. Seine Erklärung der Ladung ist eine ganz miſsglückte Anwendung der de Lüc'schen Theorie.

Keinen gröſsern Werth hat dasjenige, was Lampadius[1] über die Natur der E. vorgetragen hat, wobei er gleichfalls von der de Lüc'schen Ansicht über ihre, den Dämpfen analoge Zusammensetzung ausgegangen ist. Lampadius glaubt in dem el. Fluidum folgende Substanzen anzutreffen 1. das Feuer, weil die E. Körper entzünde, verkalke und andere Wirkungen des zersetzten Feuers äuſsere. 2. Phlogiston, weil sie metallische Kalke wiederherstelle und die Luft phlogistisire, welche Wirkungen man doch dem Phlogiston zuschreibe. 3. Licht sey nicht allein mit Feuermaterie verbunden, als Feuer in dem el. Fluidum vorhanden, sondern es enthalte selbiges auch als gebundenes Licht, wovon vielleicht seine Zartheit und erstaunliche Geschwindigkeit herrühre. Dieses beweise der starke Glanz und die Geschwindigkeit des Blitzes. 4. Sey im el. Fluidum noch eine unbekannte Substanz vorhanden, die sich durch den Phosphorgeruch beim Elektrisiren zu erkennen gäbe, nach Westrumb's Vermuthung Phosphorsäure. Nähme man zwei el. Materien an, so lasse sich vielleicht ihr Unterschied durch Ueberfluſs oder Mangel von Feuer bei ihrer Ladung erklären, so wie bei chemischen Zusammensetzungen bisweilen die Säure, bisweilen ein anderer Stoff das Uebergewicht habe. Dies scheine noch dadurch eine Bestätigung zu erhalten, daſs diese beiden Materien einander anziehen, und dadurch alle E. vernichten, welches mit dem in der Theorie der Wärme bekannten Gesetze übereinstimme, nach welchem sich das Feuer durch alle Substanzen gleichförmig zu verbreiten strebt.

Gren[2] machte sich eine viel einfachere Vorstellung von der Natur der E. als die beiden vorhergenannten Physiker. Ihm zufolge ist sie wesentlich nichts anders als Lichtmaterie, welche

1 Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre. Berlin und Stettin 1793. 8. Kap. 2.

2 Grundriſs der Naturlehre. Halle 1797. 8. §. 1408.

durch Adhäsionsverwandtschaft an der Oberfläche der Leiter festgehalten, und nur an und in Nichtleitern frei, wirksam und thätig wird. Das el. Licht zeigt sich daher nur bei dem Uebergange oder Eintritte aus einem oder in einen Leiter durch einen Nichtleiter. Die Anhäufung der el. Lichtmaterie auf isolirten Leitern würde indess durch die Anziehung derselben dagegen allein nicht geschehen können, oder diese würde nicht hinreichend seyn, der Repulsivkraft ihrer Theile unter einander hinlänglich das Gleichgewicht zu halten, so dass sie sich als Licht entwickeln und entweichen müsste, wenn nicht die Repulsivkraft der el. Atmosphäre die Anziehungskraft des Leiters dagegen unterstützte. Die Erscheinungen des el. Lichts in der torricelli'schen Leere beweisen dies, in welcher die Lichtmaterie, weder durch Anziehung noch durch jenen Widerstand von Aussen zurückgehalten, am freiesten sich ausbreiten kann und das stärkste Licht zeigt. Beim Uebergange der E. als Funken oder beim Aus- und Einströmen durch Spitzen wird nicht alles el. Fluidum frei und zum Lichte, sondern es wird etwas an die Luft mitgetheilt, weil diese kein vollkommener Nichtleiter ist. So wie das Licht nach Gren aus seinem hypothetischen *Brennstoffe* als seiner eigentlichen Basis und dem *Wärmestoffe*, welchem es eigentlich seine Expansivkraft verdankt, zusammengesetzt ist, so müssen auch diese beiden Bestandtheile in dem el. Fluidum nachgewiesen werden können. Das Daseyn des Wärmestoffs als Bestandtheil der el. Materie, habe van Marum direct dargethan, und erhelle hinlänglich aus den Wirkungen der verstärkten E. Das Daseyn der eigenthümlichen Basis des Lichtes folge nicht bloss aus dem Lichte selbst, zu welchem die el. Materie bei ihrem Freiwerden übergehe, sondern auch aus andern Versuchen wie z. B. aus der Zersetzung des Wassers durch den el. Funken, dessen Wasserstoff, wenn er Wasserstoffgas bilden soll, nothwendig die Basis des Lichtes enthalten müsse, die er nirgend anderswoher als aus dem el. Fluidum empfangen könne. Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen, welche die E. hervorbringen, bewiesen keinesweges das Daseyn eines eigenthümlichen Riechstoffs einer Säure u. dgl. in der el. Materie, sondern nur, dass unsere Nerven durch Strömung der el. Materie *gereizt* würden. Es folge aus dieser Hypothese, dass die el. Materie in den Körpern zusammengesetzt und zersetzt werden könne. Die ursprüngliche Erregung der E. bei so man-

nigfaltigen Processen des Schmelzens, Verbrennens, Verdampfens u. s. w. lasse sich hieraus erklären. Beim Reiben sey es ohne Zweifel der dabei entwickelte Wärmestoff, welcher der durch Anziehung der Körper unthätig gemachten und ins Gleichgewicht gebrachten el. Materie die nöthige Expansivkraft ertheile, vielleicht auch sich mit der in den Körpern befindlichen Lichtbasis erst zur el. Materie vereinige. Das einerseits ganz Willkürliche, andererseits Ungenaue dieser Darstellung leuchtet von selbst ein, und nur der Name des berühmten Urhebers gab Veranlassung, derselben so viele Zeilen zu widmen.

H. C. Oersted[1] faſste die el. Thätigkeit aus einem höheren Standpuncte auf, indem er in derselben gleichsam nur eine besondere Wirkungsform der allgemeinsten Naturkräfte zu finden glaubte. Seine Ansicht hat ihre erste Wurzel in Kant's dynamischer Physik, und ihre besondere Richtung ohne Zweifel vorzüglich durch Winterl's geistreiche Träumereien[2] erhalten. Alle el. Erscheinungen hängen, ihm zufolge, von denselben *zwei Grundkräften* ab, welche dem chemischen Proceſs zum Grunde liegen, und welche in dieser Sphäre von ihm den Namen der *Zündkraft* und *Brennkraft* erhalten haben. In ihrer ganzen Consequenz durchgeführt fallen nach dieser Ansicht die Körper selbst mit den Kräften zusammen, indem auch der Raum nur durch diese Kräfte körperlich wird. Indeſs ist in der wirklichen sprachgemäſsen Darstellung die Unterscheidung dieser Kräfte von den Körpern selbst unvermeidlich. Für sich ist jede dieser Kräfte durch Repulsiv- oder Ausdehnungskraft frei thätig, und strebt sich im Raume zu verbreiten, in Beziehung auf einander wirken sie durch gegenseitige Anziehungskraft, heben so wechselseitig ihre Repulsivkraft auf, und fixiren sich im Raume. Da *Wärme*, *Licht* und *Magnetismus* nur besondere Wirkungsformen eben dieser Kräfte sind, so ist leicht begreiflich, wie unter besondern Umständen die el. Kräfte in ihrer Wirkung auf einander Wärme, Licht, und selbst magnetische Erscheinungen hervorbringen können. Winterl hatte ungefähr auf dieselbe Weise früher, wie Oersted in seiner Zündkraft, in den Principien der *Acidität* und *Alkalität* oder

1 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berl. 1812.

2 Darstellung der vier Bestandtheile der anorganischen Natur. Jena 1804.

den von ihm sogenannten begeistigenden Principien die letzten chemischen Kräfte aufgestellt, auf deren wechselseitiger Anziehung alle chemischen Verbindungserscheinungen (und damit auch alle Zersetzungen, die dann nur Folge einer neuen Verbindung sind) beruhen, und diese Kräfte als identische mit den beiden Elektricitäten nachzuweisen gesucht. Zugleich hatte er behauptet, daſs die beiden Elektricitäten durch ihre Einung stets Wärme erzeugen die also ein Product, ein Zusammengesetztes, aus ihnen beiden als ihren Bestandtheilen sey. Dagegen erinnerte Oersted mit Recht, daſs Wärme-Erzeugung nur unter besondern Umständen ein Resultat der Ausgleichung beider Elektricitäten sey, indem auch die gröſsten Quantitäten entgegengesetzter E., wenn sie sich in hinlänglich vollkommenen Leitern ausgleichen, keine Temperaturerhöhung veranlassen. Indem er nun mit vieler Sorgfalt alle die Phänomene der Wärmeerzeugung durch E. zusammenstellte, gelangte er zu dem Resultate, daſs ein Körper warm wird, wenn er gezwungen ist, eine gröſsere Elektricitätsmenge zu leiten, als er frei geleitet haben würde, und zu dem Fundamentalsatze seiner Wärmetheorie, daſs derjenige Zustand, wo das Gleichgewicht in jedem Puncte des Körpers gestört ist, aber so, daſs es zu keiner sinnlich erkennbaren Trennung der Kräfte komme, die Erscheinung der Wärme gebe. Die nähere Prüfung dieser Theorie gehört in den Artikel: *Wärme*, nur das mag hier beistimmend bemerkt werden, daſs Oersted auſser allen Zweifel gestellt hat, daſs eine bloſse Vereinigung der beiden Elektricitäten an und für sich noch keine Wärme giebt, oder daſs diese nicht in demselben Sinne als ein Product derselben betrachtet werden kann, wie etwa ein Salz als dasjenige der Vereinigung einer Säure und einer Base.

Wollaston[1] suchte die Natur der E. vielmehr aus der Natur ihrer Quelle oder der Art ihrer Erregung aufzuklären. Erst bewies er durch mehrere scharfsinnig ausgedachte Versuche die Identität der gewöhnlichen Reibungs E. mit der galvanisch erregten auch da, wo man vorher nur Verschiedenheit gesehen hatte. Es gelang ihm durch den bloſsen el. Strom der Elektrisirmaschine (eines Glascylinders von 7 Zollen im Durchmesser) die Wasserzersetzung auf eine ähnliche Weise wie durch die Zuleitungsdrähte einer Volta'schen Säule zu bewirken, wenn er diesen Strom nur durch eine hinlänglich feine Spitze in das

1 G. XI. 104.

Wasser leitete. Er bereitete sich dazu die feinsten Goldfäden durch Verjagung der Säure einer Goldauflösung in einem Haarröhrchen, das auf diese Weise innerlich mit einem höchst dünnen Goldhäutchen überzogen worden war, und zusammengeschmolzen wurde. Verband er zwei solche Drähte, wenn man sie so nennen darf, den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor seiner Maschine, so zeigten sich an beiden Enden Gasbläschen, doch immer noch mit dem Unterschiede von dem Verhalten der galvanisch durchströmten Gasleitungsröhre, daſs Sauerstoffgas und Wasserstoffgas jedesmal zugleich an beiden Drähten, und nicht getrennt jedes für sich an seinem respectiven Drahte auftreten. Eine andere Aehnlichkeit beiderlei Arten von E. zeigte sich in der Wirkung eines Stromes elektrischer Funken zwischen zwei, einen Zoll von von einander abstehenden, Goldspitzen, die über ein mit Lackmus blau gefärbtes und beinahe trockenes Kartenblatt geleitet wurden und am positiven Drahte das Papier sichtlich roth färbten, am negativen dagegen die blaue Farbe des rothgefärbten wieder herstellten. Doch erfolgte diese Wirkung schneller durch den Volta'schen Apparat. Bei dieser Aehnlichkeit der beiden Elektricitäten in ihrer Wirkung kam Wollaston auf die Folgerung, daſs sie auch auf gleiche Art erregt werden möchten, und wirklich wurde dies durch Versuche bestätigt. Das Silber und Platin-Amalgama die sich nicht oxydiren, zur Einreibung des Reibkissens gebraucht, hinderten die Erregung der E., und eine kleine Elektrisirmaschine gab unter einem Recipienten, in welchen kohlensaures Gas gelassen worden war, keine Spur von E. So wie nun hier das Reibzeug, an welchem sich das oxydirbare Amalgam befindet, negativ elektrisch wird, so wird auch in der Säule der sich oxydirende Zink negativ (wovon jedoch bekanntlich gerade das Gegentheil statt findet).

Auf dieser von Wallaston (scheinbar) zur Aufklärung der Natur der E. aus dem Vorgange ihrer Erregung gebrochenen Bahn ist später Parrot noch weiter fortgeschritten, und ist so zu einer Theorie der E. gelangt, die wegen ihrer specielleren Ausführung hier näher gewürdigt zu werden verdient[1]. Das schon längst bekannte Phänomen, meint Parrot, daſs ein nur

1 S. Grundriſs der theor. Physik II. Theil drittes Kapitel. Allgemeine Theorie der E. S. 588.

mäſsig gut gekochtes Barometer bei dem Schwenken der Quecksilbersäule E. zeigt, ein völlig luftleeres aber nicht, hätte schon andeuten sollen, daſs die atmosphärische Luft bei allen unsern Reibungsversuchen zur Entstehung der E. nothwendig sey. Diesen wichtigen Satz habe D. Heidmann in Wien durch folgende Versuche auſser allen Zweifel gesetzt[1]. Eine kleine Elektrisirmaschine wurde unter die Glocke einer Luftpumpe so aptirt, daſs sie ohne Communication mit der äuſsern Luft gesetzt werden konnte. Die Glocke stand aber mit einem Gasometer in Verbindung, welcher die Glocke mit verschiedenen Gasarten versehen konnte, nachdem die vorhergehende ausgepumpt worden war. Hierauf wurden folgende Gase nach und nach eingeführt, die Elektrisirmaschine in Thätigkeit gesetzt, und die Länge der Funken mit einem Auslader gemessen. 1. *Atmosphärische Luft* von der Dichtigkeit der äuſseren lieferte Funken von 3″. 2. Atmosphärische Luft, welche nur noch 3″, 5 Quecksilber trug, lieferte keine meſsbare Funken mehr, sondern nur ein schwaches Knistern. Bei möglichster Verdünnung hörte dieses auch auf, und nur noch ein Korkkügelchenelektrometer gab einige Spuren von E. zu erkennen. 3. *Sauerstoffgas* gab ununterbrochene Funken von 5″, 5. 4. *Kohlensaures Gas* von ziemlicher Reinheit lieſs keinen Funken zu. Am Elektrometer wurde nur ein Schwanken der Kügelchen bemerkt. 5. Ebenso verhielt sich das *Wasserstoffgas* und *Stickgas*.

Diese Versuche sollen beweisen, daſs nur die Gegenwart des freien Sauerstoffs die Elektricitätserregung zulasse. „Die Wirkung des freien Sauerstoffs ist aber Oxydation der „oxydablen Stoffe, welche ihm dargeboten werden. In der „Reibungselektricität zeigt sich auch diese Oxydation. Beim „Reiben einer Scheibenmaschine am (reinern) Quecksilber sieht „man diese Oxydation mit groſser Schnelligkeit entstehen, sie „entsteht am Kienmayer'schen Amalgama, welches weiter nichts „ist, als ein an der Luft sehr oxydabeles Gemisch. Sie findet „sich an der Hand des Experimentators, der sie als Reiber ge„braucht, in den ausdünstbaren, oxydirbaren Stoffen; sie ent„steht am bloſsen Leder und andern Substanzen, die man als „Reiber anwendet, und wir finden durchaus, daſs die Grade

---

1 Vergl. Dr. Heidmann vollständige Theorie der E. Bd. II S. 191—210.

„der E. an der Elektrisirmaschine mit der Oxydirbarkeit des „Reibers zunehmen."

Das Resultat hieraus ist, dafs die Reibungselektricität so gut als die galvanische ein Product der Oxydation ist. Die Reibung befördert die Oxydation 1. durch eine gelinde Erwärmung. 2. Durch eine vollkommene Trituration der atmosphärischen Luft mit der oxydabelen Substanz. 3. Durch eine beständige Zufuhr von neuer Luft in den Procefs. Sie erhöht endlich die el. Wirkung, indem sie den Körper, der + E hat, schnell von dem, der — E hat, entfernt. Die stärkere Spannung der Reibungs-E. gegen die der galvanischen beruht auf der Abwesenheit einer leitenden Flüssigkeit, welche beide E. bald nach ihrer Entstehung in der Säule wieder vereinigt, aber auch darauf, dafs jeder physisch unendlich schmale Streifen der Scheibe als eine Schichtung in der Säule angesehen werden kann, welche dem Conductor, dem Pole der Maschine, ihre erhaltene E. zuführt, und da dieser Streifen unendlich viele auf der Fläche der Scheibe sind, so haben wir hier nicht eine Summe von 100 oder 200 einfachen Graden, sondern eine unzählige Summe derselben. (Wie wenig diese Vergleichung passe, ergiebt sich schon daraus, dafs alle diese Streifen eine gleiche Spannung beim Reiben annehmen). Parrot huldigt dem Dualismus, und zwar soll die positive E. Wärmestoff, die negative Lichtstoff seyn, denn Licht und Wärme zeigen sich auch ohne Oxydation beim el. Funken und beim Ausströmen aus Spitzen. Der Wärmestoff ist der expandirende Stoff für das Oxygen (aber die + E in der Gaszersetzungsröhre stellt den gebundenen Sauerstoff in Gasgestalt dar) der Lichtstoff ist das expandirende Princip für das Hydrogen (aber die — E stellt auch den gebundeuen Wasserstoff in Gasgestalt dar). Diese Annahme stimmt auch vollkommen mit der Erregungsweise der E. überein. An den gewöhnlichen Elektrisirmaschinen oxydirt sich das Amalgama, diese entzündliche Substanz (eine *Lucide*) verliert dadurch ihre Entzündlichkeit, d. h. ihren gebundenen Lichtstoff, welcher aber nicht vernichtet werden kann. Daher erscheint er als — E am Metalle. Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, indem er sich mit der Lucide verbindet, verliert seinen Wärmestoff, der eben so wenig vernichtet werden kann, daher erscheint er als + E und hängt sich dem Glase an. Auf ähnliche Weise erklärt Parrot die Elektricitätserregung in der Säule. Die Kohle,

durch welche ein mächtiger galvanischer Strom hindurch geleitet wird und welche am + Ende und am — Ende zugleich glüht, zeige gleichsam dem bloſsen Auge die + E in Gestalt des Wärmestoffs, und — E in Gestalt des Lichtstoffs. Jene im + Ende gehäuft erheitze die Kohle bis zur Entzündung (aber das Glühen findet nach Davy auch beim Ausschluſs alles Verbrennens der Kohle in der so stark wie möglich verdünnten Luft im Wasserstoffgas u. s. w. statt), diese am — Ende gehäuft liefere den Lichtstoff des Entzündungsphänomens, der angehäuft bekanntlich die Glühhitze bewirkt. Uebrigens hängen die el. Phänomene von der vereinten Wirkung des Expansionsstrebens jener beiden Stoffe, welches das Ueberwiegende ist, und der Anziehung der ponderabelen Stoffe zu ihnen ab. Die Anziehung äuſsere sich bei den Metallen und wäſsrigen Flüssigkeiten nur an der Oberfläche nach Art einer Adhäsionsverwandtschaft, beim Glase, den übrigen Isolatoren (den *Luciden*) bis ins Innere, durch eine Art von chemischer Verwandtschaft, aber nur langsam, wie eine Säure nur langsam in das Wasser, das darüber gegossen wird, eindringe. Parrot gesteht aufrichtig, daſs wir in der Lehre des Wärmestoffs und des Lichtstoffs keine Anziehung dieser beiden Imponderabilien zu einander wahrgenommen haben, glaubt aber, diese groſse Schwierigkeit leicht umgehen zu können, wenn er hinzufügt, daſs nur die Elektricitätsphänomene im Stande sind, sie uns darzustellen, weil sie allein uns diese beiden Stoffe frei von andern Stoffen, und auf einander einwirkend zeigen. Endlich sollen im hervorbrechenden Funken beide Stoffe frei mit einander hervortreten, sie haben sich als Elektricitäten gebunden, aber als Stoffe wechselseitig frei gemacht.

Diese Theorie und damit auch die Wollaston'sche Erklärung der Erregung der E. durch Reibung hält indeſs eine genauere Prüfung nicht aus. Schon das Hauptfactum, von welchem Parrot ausgeht, die Abwesenheit der el. Lichterscheinung in einem vollkommen ausgekochten Barometer, verglichen mit den verwandten Phänomenen, liefert vielmehr einen Gegenbeweis. Wenn Oxydation des Quecksilbers durch den kleinen Rückstand von atmosphärischer Luft in dem nicht so vollkommen ausgekochten Barometer die Quelle der E. wäre, wie könnten durch Kochen des Quecksilbers soviel möglich luftleer gemachte und dann hermetisch verschlossene Röhren, in welchen man etwas Quecksilber zurückgelassen hat (die sogenannten

Hawksbee'schen Quecksilberphosphore) viele Jahre hindurch ihr phosphorisches Licht mit ungeschwächter Stärke geben. Ich besitze dergleichen bereits 30 Jahre, mit denen ich viele hundert Male mehrere Minuten lang den Lichtversuch angestellt habe, und noch zeigt das el. Licht seinen ursprünglichen Glanz und das Quecksilber sein unverändertes metallisches Ansehen. Auch ist es bekannt genug, daſs reines Quecksilber, wie stark und lange man es auch in Berührung mit der atmosphärischen Luft oder auch mit Sauerstoffgase in einem Glase schüttelt, sich doch nicht im Geringsten oxydirt. In wie viele Fällen findet *Elektricitätserregung* statt, wo auch nicht die *geringste Oxydation* anzunehmen ist, z. B. beim Erkalten des geschmolzenen Schwefels in metallenen Gefäſsen, beim starken Drucke der Körper an einander, bei der bloſsen Veränderung des Aggregatzustandes derselben u. s. w. Die königliche Societät der Wissenschaften zu Göttingen hatte für das Jahr 1809 die Preisfrage aufgegeben: Was haben Sauerstoff, Stickgas und andere Gasarten für einen Einfluſs auf die Erregung der E. durch Reiben, und wie verhalten sich andere el. Erscheinungen, wie z. B. Anziehen und Abstoſsen, Funken, Strahlenbüschel in den vorzüglichsten Gasarten. Es war nur eine Abhandlung eingelaufen, in welcher ähnliche Versuche wie die Heidmann'sche beschrieben und Parrot's Theorie wörtlich vorgetragen war. Die Societät fand aber die Abhandlung nicht genügend, und machte gegen die Theorie mehrere treffende Bemerkungen. Insbesondere erinnerte sie, daſs bei Elektrisirmaschinen aus seidenen und wollenen Zeugen, die man mit Pelzwerk reibt, seit vielen Jahren, während welcher sie gebraucht werden, keine Veränderungen in dem Reibzeuge wahrzunehmen seyen, daſs also hier wenigstens die Oxydationstheorie nicht anwendbar sey. Es wird von derselben auch noch erinnert, daſs die Oxydation des Amalgams auch bloſs ein begleitendes Phänomen seyn könne, wodurch dasselbe wegen veränderter Beschaffenheit seiner Oberfläche untauglich zum Reibzeuge werde[1]. Ehe jene Heidmann'schen Versuche zur Grundlage einer so umfassenden Theorie gemacht wurden, hätten sie billig von Parrot durch Wiederholung bestätigt werden sollen. Hieraus würde die Ueberzeugung hervorgegangen seyn, daſs Heidmann entweder gesehen

---

1 S. Gött. Gel. Anzeigen Nr. 17. 1809.

hat, was er sehen wollte, oder irgend einen wichtigen Umstand übersehen hat. Was nämlich die Abnahme der el. Phänomene in verdünnter Luft betrifft, so berechtigte sie an sich noch nicht zum Schlusse, daſs Mangel an Sauerstoff dieses veranlasse, da auch die bloſse Zerstreuung der E. in einem weniger isolirenden Medium die Ursache davon seyn konnte. Eine ähnliche Zerstreuung der E. durch das kohlensaure Gas, das Wasserstoffgas und Stickgas, als weniger isolirende Medien wie die atmosphärische Luft, ist dagegen freilich nicht zulässig, da aus Grotthuss's Versuchen das Verhalten des el. Funkens in den beiden ersteren[1] hervorgeht, daſs sie keine bessere Leiter, als die gewöhnliche atmosphärische Luft sind. Indessen haben wir auch zu diesem Auswege nicht unsere Zuflucht zu nehmen, da Heidmann's Versuche bei der Wiederholung sich wirklich nicht bestätigt haben. Ich beziehe mich in dieser Hinsicht auf Dessaignes's Versuche über den Einfluſs des Luftdrucks auf die Kraft der E.[2]. Die kleine Elektrisirmaschine, mit der er sowohl in verdünnter als verdichteter Luft, in verschiedenen Gasarten und Dämpfen, diese Versuche unter einem Recipienten anstellte, bestand aus einem 2″,6 dicken Cylinder von Siegellack, der sich an einem wollenen Reibzeuge rieb. Die Stärke der jedesmaligen Elektricitätserregung wurde durch die Gröſse der Divergenz der Kügelchen eines Saussüre'schen Elektrometers nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen gemessen, das mit einer metallenen Spitze bis auf 0,5 Linie mit dem Cylinder nahe war. Für die gehörige Austrocknung der Gasarten wurde durch geglühetes ätzendes Kali, oder salzsauren Kalk gesorgt. Da fand sich denn, daſs sich die durch Reiben erzeugte el. Kraft im *kohlensauren Gase, Wasserstoffgase und Stickgase*, so wie in der *atmosphärischen Luft* und im *Sauerstoffgase* äuſserte und daſs sie beim *Verdünnen* und *Verdichten* dieser Gasarten, dieselbe *Zunahme* und *Abnahme* an Stärke und dasselbe Verlöschen erlitt. Dessaignes glaubte einen Einfluſs der jedesmaligen el. Spannung der Atmosphäre auf die Stärke der E. und auf die früher oder später eintretende Abnahme bei der Verdünnung und Verdichtung, die erst einen verstärkenden Einfluſs äuſserten, beobachtet zu haben. Dabei bemerkte er nun

1 Schweigg. III. S. 142.
2 G. XLVIII. 40.

dafs an Tagen starker Spannung die E. im *kohlensauren Gase* sogar mehr Intensität, als im *Sauerstoffgase*, und in diesem mehr als im *Stickgase* und *Wasserstoffgase* halte, dessen ungeachtet aber beim Verdünnen und Verdichten im kohlensauren Gase und überhaupt in den *dichteren* Gasarten eher als im Wasserstoffgase erlosch. An Tagen schwacher Spannung schien ihm dagegen die E. im Stickgase und Wassertoffgase viel stärker als im Sauerstoffgase und besonders im kohlensauren Gase zu seyn, und so erklärt er sich den entgegengesetzten Erfolg des Wollaston'schen Versuchs im kohlensauren Gase daraus, dafs er an einem Tage schwacher el. Spannung angestellt worden sey, wo die Elektricitätserregung in der atmosphärischen Luft noch ziemliche Intensität habe. Da man gegen Dessaignes's Versuche einwenden könnte, dafs sie mit einem ganz andern el. Körper und Reibzeuge, wie die des Dr. Heidmann und Wollaston angestellt seyen, und da es mir überhaupt von dem höchten Interesse schien, diese Sache aufs Reine zu bringen, so habe ich selbst Versuche mit einer kleinen sehr wirksamen englischen Patentscheiben-Maschine angestellt, deren Scheibe 9" im Durchmesser hatte, und mit welcher eine Leidner Flasche verbunden war, die sich durch Hülfe eines Lane'schen Ausladeelektrometers nach einer grofsen Anzahl von Umdrehungen und davon abhängiger Stärke der Ladung von selbst entlud. Die bis zur Selbstentladung nöthige Anzahl der Umdrehungen war hier ein sehr sicherer Mafsstab für die Stärke der Elektricitätserregung. Die kleine Maschine befand sich mit der Flasche unter einem hinlänglich grofsen Recipienten, und die Axe der Maschine ging durch ein seitwärts in der Wendung der Glocke angebrachtes Loch durch eine Lederbüchse. Die Glocke wurde von der atmosphärischen Luft entleert und dann mit den Gasarten gefüllt. Die Versuche wurden öfters wiederholt. Hier zeigte sich nun, dafs im kohlensauren Gase nicht mehr Umdrehungen zur Entladung der Flasche nöthig waren, als in der atmosphärischen Luft, ja an manchen Tagen erfolgte die Entladung sogar früher, nämlich nach 8 bis 9 Umdrehungen, da die in der atmosphärischen Luft erst nach 12—13 Umdrehungen erfolgte. Auch im Wasserstoffgase ging die Ladung der Flasche eben so gut vor sich. Derselbe Fall war im Stickgase, das ich durch Schwefelleber aus der Luft bereitet hatte. Hiermit fällt also das ganze Fundament der Parrot'schen Theorie über den Haufen. Endlich

aber ist gar nicht zu begreifen, warum Wärmematerie und Lichtmaterie in den el. Erscheinungen mit so gänzlich abweichenden Eigenschaften von denjenigen auftreten sollten, die sie sonst zeigen. Eine größsere Reinheit derselben kann doch wahrlich nicht der Grund davon seyn, da vielmehr alles, besondets die Einwirkung auf unsere verschiedenen Sinnenorgane eine gröfsere Zusammengesetztheit der E. wie der Licht- und Wärmematerie anzeigt. Man kann unmöglich eine Uebereinstimmung zwischen dem positiven Feuerbüschel, der mit schönem purpur-violettem Lichte in divergirenden, von einem Stamme ausfahrenden, Strahlen hervorbricht, auf der Zunge einen säuerlichen Geschmack bewirkt, einen deutlichen Phosphorgeruch verbreitet, und nur unter besondern Umständen eine Temperaturerhöhung bewirkt, mit reiner Wärmematerie finden.

Ruhland [1] hat einen neuen Versuch gewagt, die Natur der E. weiter aufzuklären. Seine Ansicht über das Verhältnifs der beiden Elektricitäten gegen einander steht in der Mitte zwischen der Franklin'schen und dualistischen Theorie. Zur Verdeutlichung dieses Verhältnisses bedient er sich der Analogie des Lichtes. Die Elektrisirung sey ähnlich der Polarisation des letzteren zu Farben. + E und — E verhalten sich gegen einander wie rothes und violettes Licht, sie seyen gleichsam verschiedene Spannungen, es komme an ihnen weniger ihr Gegensatz als ihr Gemeinschaftliches in Betrachtung, doch ziehen sie hier wie zwei Hälften einer Substanz einander an. + E sey von gröfserer Spannung, und so wie das Licht beim Durchgange durch trübe Mittel als rother Strahl mit gröfsrer Spannung hervortrete, so werde die E. auch um so mehr + E, je mehr sie Widerstand bei ihrem Heraustreten zu überwinden habe. Doch finde nicht blofs diese qualitative Spannungsverschiedenheit zwischen + E und — E statt, vermöge welcher das + E auch bei allen gradativen Verschiedenheiten doch stets seine charakteristische Verschiedenheit von dem — E behaupte, so wie die rothe Farbe bei den verschiedensten Abstufungen der Stärke gleichfalls beständig roth bleibe, sondern es setzen alle an den beiden Elektricitäten vergleichungsweise untersuchten Wirkungen es aufser Zweifel, dafs das + el. Fluidum die gröfste Masse habe, folglich der — el. Körper im Verhältnifs der Aufnahme zu dem + el.

---

1 System der allgemeinen Chemie, Berlin und Stettin 1818.

stehe, der dagegen durch den el. Procefs ärmer daran werde. Den Beweis hiervon findet Ruhland besonders in der gröfseren Kraft der + E zu zünden, zu schmelzen, in den Erscheinungen beim Durchschlagen eines Kartenblatts, in dem stärkern Schlage einer galvanischen Batterie vorzugsweise an dem Gliede, welches das + Ende berührt (wovon ich und alle diejenigen, die schon so oft diesen Versuch mit mir anstellten, gerade das Gegentheil fanden). Mit der Wärme und dem Lichte habe das el. Fluidum gemein, dafs sie alle drei gleicherweise der Cohäsion entgegengesetzt seyen. Dieses Gemeinschaftliche könne man durch das Collectivum *Phlogiston* bezeichnen. Es strebe bei dieser Entgegensetzung auch umgekehrt die Cohäsionskraft eines jeden Körpers dahin, dieses Phlogiston, als die ihm entgegegengesetzte Action auszutreiben, da erstere nur auf diese Weise eine Zunahme erhalte; dieses könne aber nur gelingen, wenn ein Körper mit einem andern zusammentrete, gegen welchen er sich eines Theiles seines Phlogistons zu entladen im Stande sey. Da aber auch jeder andere Körper das Bestreben habe, sich seines Phlogistons zu entledigen, so könne nur das Uebergewicht der *Action* des einen in Beziehung auf den andern allein diese Dephlogistication des einen an den andern möglich machen. Jedes el. Verhältnifs zweier Körper beruhe daher auf gegenseitiger *Erregung*, welche ihren Grund darin habe, dafs ein Körper den andern el. zu setzen suche, während jeder zugleich gegen die Einwirkung des andern reagire, wodurch dann beide zu einem Grade von Thätigkeit sich erhöben, welchen sie ursprünglich nicht hatten. Es folgt auch aus diesem Verhältnisse, dafs nach dem el. Processe beide Körper nicht mehr sind, was sie *vor* demselben waren, sondern dafs derjenige Körper, welcher in der Verbindung mit + E auftritt, und der *phlogistischere* ist, sich in Beziehung auf den — el. nach der Entladung *dephlogistisirt*, dieser *phlogistisirt* verhält. Ein relatives Steigen der Cohäsionskraft von jenem und ein Sinken derselben von diesem, somit Contraction auf jener Expansion auf dieser Seite, sind nothwendige Folgen davon.

Ich habe absichtlich etwas ausführlicher die Hauptideen Ruhland's, die sich auf die E. beziehen, mitgetheilt, um auf jenes oben angeführte Werk, das fast gar nicht beachtet worden ist, und doch viele originelle und mitunter fruchtbare

Ideen enthält, und besonders auf manche Schwierigkeiten hinweist, die man in den gebräuchlichen Erklärungen ganz übersieht, aufmerksam zu machen. Ubrigens scheint mir Ruhland die Verschiedenheit der positiven und negativen E. durch Verschiedenheit der Spannung und Masse eines und desselben Fluidums eben nicht deutlicher gemacht zu haben, denn dafs hier nicht von einer *Tension* in dem gewöhnlichen el. Sprachgebrauche die Rede sey, leuchtet in die Augen.

Auf einem ganz andern Wege, als den die bisher vorgetragenen Theorien eingeschlagen haben, glaubte Biot [1] zu einer befriedigenden Erklärung einiger der wichtigsten, die E. begleitenden Erscheinungen gelangt zu seyn. Da nämlich verbrennliche Körper durch Comprimiren der Luft entzündet werden können (wie z. B. Schwamm in dem sogenannten pneumatischen Feuerzeuge) und Berthollet in seiner statique chimique gezeigt haben sollte, dafs die E. bei ihrem Durchgange durch die Körper in ihren kleinsten Theilchen eine wahre Compression bewirke, so wurde er auf die Idee geführt, dafs in dem el. Funken ein blofs *mechanisches Resultat der Compression* wahrzunehmen sey. Denn vermöge der aufserordentlichen Geschwindigkeit, womit die E. durch die Körper gehe, deren Theile sie comprimire, sey es nicht anders möglich, als dafs sie aus der Luft Licht entbinden müsse, indem es uns schon gelinge, dieses durch ein weit minder schnelles Comprimiren zu bewirken. In der Compressionspumpe müssen wir die Luft durch Glas einschliefsen, weil wir dem Kolben nur eine sehr beschränkte Geschwindigkeit zu geben vermögen, indefs beim el. Funken die Theilchen mit einer so aufserordentlichen Geschwindigkeit comprimirt werden, dafs sie nie schnell genug ausweichen können, weshalb selbst in freier Luft die Compression sammt der Lichtentbindung oder dem Funken, der eine Folge derselben sey, vor sich gehen könne. Aber diese Wirkung sey local, und wenn Gasarten, die nicht fähig seyen, in einen andern Zustand durch Verbindung überzugehen, nach jeder Explosion zu ihren anfänglichen Dimensionen zurückkämen, wie dies der Versuch mit dem Kinnersley'schen Luftthermometer beweise [2], so nehmen sie bei dieser Dilatation sogleich alle Wärme wieder in

1 Ann. de Chemie. Tom. LIII. p. 324 ff.

2 S. *Elektrometer.*

sich auf, die sie hergegeben hätten, so dafs in ihrer Beschaffenheit keine bleibende Veränderung vor sich gehen könne. Dieses Licht, welches die E. aus den Gasarten durch Compression entwickele, müsse sie aus ihnen selbst auch in verdünntem Zustande, ja wegen der ungeheuern Geschwindigkeit, die ihr eigen sey, selbst aus den Dämpfen entbinden, wenn man im luftverdünnten Raum oder in der Torricelli'schen Leere operire, indem letztere selbst in dem am vollkommensten ausgekochten Barometer noch einen, wenn auch noch so dünnen Quecksilberdunst enthalte. Diesemnach erfolgen alle el. Lichterscheinungen auf eine rein mechanische Weise, und enthalten nichts eigentlich el. in sich. Indefs steht dieser Erklärung die Schwierigkeit entgegen, dafs die el. Funken auch im Oele erscheinen, und die Zuleitungsdrähte einer mächtigen Volta'schen Säule, auch wenn sie im Wasser sich berühren einen sichtbaren el. Funken geben, endlich das anhaltende starke Leuchten luftleerer Röhren, wobei doch an eine Compression durch einen schnell bewegten Körper gar nicht zu denken ist.

Brugnatelli's Versuche [1], durch welche er die el. Materie als eine wahre Säure, die er el. Säure nannte, und selbst in Verbindung mit Metalloxyden, zu el. - sauren Salzen dargestellt haben will, werden ihren schicklichen Ort unter dem Artikel *Galvanismus* finden, wobei ich vorläufig bemerke, dafs die aus diesen Versuchen gezogenen Folgerungen über die Natur des el. Fluidums keinen Beifall verdienen.

Auch Röslin [2] hat sich in Erörterungen über die Natur der Elektricitäten eingelassen, und glaubt durch eine sehr weitläuftige Demonstration bewiesen zu haben, dafs gebundener Wärmestoff ein wesentlicher Bestandtheil der beiden E. sey, jedoch im geringeren Grade der negativen E. zukomme, woraus dann folge, dafs sich bei gleicher Intensität, durch den Grad der anziehenden und abstofsenden Kraft gemessen, die freie — E weniger ausdehnsam und weniger für das Entzünden brennbarer und das Schmelzen schmelzbarer Materien wirksam zeige, weswegen sie kleinere, intensivere und stärker stechende Funken gäbe, und auch mit anderen Lichte leuchte als die freie + E, dafs ferner der gebundene Wärmestoff der beiden Elektricitäten bei

---

1 G. VIII. 284.

2 Kritische Prüfungen u. s. w. Cap. IX u. X.

ihrer wechselseitigen Ausgleichung zu 0 jedesmal frei werde, daſs aber die Lichtmaterie keinen Bestandtheil der Elektricitäten ausmache, sondern jedesmal erst, wenn die E. mit einem gewiſsen Grade von Dichtigkeit hervorbreche, die gebundene Lichtmaterie der umgebenden Luft oder Dünste, durch welche sie hindurchströme (die auch in der Torricelli'schen Röhre nie ganz fehlen) anziehe, und so erst leuchtend werde.

An diese Behauptungen werden sich am besten noch einige Bemerkungen über den jetzigen Standpunct der Elektricitätslehre in Betreff einer eigentlichen Theorie der el. Erscheinungen, wie die sich beim nochmaligen Rückblicke auf die neuesten Bemühungen in dieser Hinsicht ergeben, anknüpfen lassen.

Es scheint mir zuvörderst ganz ausgemacht zu seyn, daſs den *el. Erscheinungen eine eigenthümliche Materie, die zu den ätherischen Flüssigkeiten zu rechnen ist*, zum Grunde liege. Auf dem Standpuncte der dynamischen Physik, auf welchen Oersted in seiner Theorie sich befindet, würde freilich diese Materie in ein bloſses Spiel von Kräften sich auflösen, jedoch in keinem andern Sinne, als gleichfalls jede andere Materie. Indem ich also der E. ihre Materie vindicire, soll weiter nichts behauptet werden, als daſs sie einen *Bestand für sich* habe, daſs sie also nicht in einer bloſsen besondern Thätigkei der ponderablen Körper, etwa in einer eigenthümlichen zitternden Bewegung derselben bestehe. Der Beweis hiervon lieg unwidersprechlich darin, daſs die Fortpflanzung dieser Thätigkeit durch einen Raum um so leichter und ungehinderter stat findet, jemehr er sich der *vollkommenen Leere* nähert. Da e also an einem anderweitigen Träger dieser Thätigkeit fehlt, so muſ sie ihn selbst mit sich bringen, d. h. die E. hat *eigenthümlichen materiellen Bestand.*

Eben so ausgemacht scheint es mir zu seyn, daſs es zweierlei Arten von E. giebt. Alle Gründe, welche aus den Erscheinungen des el. Conflicts für die Annahme einer eigenthümlichen Thätigkeit, und damit einer eigenthümlichen ätherischen Flüssigkeit auf der einen Seite dieses Conflicts ar geführt werden, gelten durchaus und ohne Ausnahme auch fi die andere Seite, jede neue Erfahrung diente nur zur Bestätgung hiervon, und zugleich zum Erweise, daſs auf jeder Sei eine specifische Thätigkeit statt findet, wovon die eine von d

andern bei aller Aehnlichkeit, die sie mit einander zeigen, durch ihre eigenthümlichen Reactionen mit den verschiedenen Kräften und Eigenschaften, sowohl der organischen als unorganischen Natur sich merklich unterscheidet. Von diesen Eigenthümlichkeiten einer jedem der beiden Thätigkeiten konnte in diesem Artikel noch nicht im ganzen Umfange gehandelt werden, doch ist schon genug davon angeführt, um jede einzelne erkennen zu können. Es muſs hier noch ausdrücklich bemerkt werden, daſs zu den merkwürdigsten Verschiedenheiten der Reactionen vorzüglich die chemischen und die Leitungsverhältnisse gehören, welche durch die Entdeckungen Erman's über unipolare und bipolare Leiter, und namentlich noch durch die späteren Versuche über das Verhalten der Glühlampe [1] für den *Dualismus* so bedeutend geworden sind, und von welchen an seinem Orte näher die Rede seyn wird. Diesen specifischen Thätigkeiten müssen also auch nach dem ersten Satze eigenthümliche ätherische Flüssigkeiten zum Grunge liegen, deren eine die sogenannte *positive*, die andere die *negative* E. ausmacht.

Was nun das Verhältniſs dieser beiden ätherischen Flüssigkeiten gegen die übrigen Inponderabilien betrifft, insbesondere gegen diejenigen, von welchen die Wärme und Lichtthätigkeit abhängt, so ist es als eben so ausgemacht anzusehen, daſs sie mit diesen nicht identisch sind, möge man nun diese Verschiedenheit mit Oersted als eine bloſse Verschiedenheit der Wirkungsform derselben Grundkräfte, oder als eine Verschiedenheit der Materien selbst betrachten. Eben so unleugbar ist aber auch, daſs sie mit diesen Inponderabilien in einem genauen Verkehr stehen, der jedoch bis jetzt noch nicht vollkommen genügend aufgeklärt werden konnte. Was zuerst die Beziehung auf die *Wärme* betrifft, so haben noch vor den Galvanischen Versuchen schon die früheren, vorzüglich von van Marum angestellten [2] wenigstens den *negativen* Werth gehabt, daſs sie für die Beseitigung irriger Ansichten ganz entscheidend waren. Es folgt nämlich aus denselben unwidersprechlich, daſs keine von den beiden Elektricitäten an und für sich durch Wärme thätig ist, da auch die durch die stärkste Maschine aufs Maximum der Spannung geladenen Conductoren

1 Schriften der Berl. Akad. der Wissensch. Berl. 1820. S. 351.

2 Seconde continuation etc. p. 84 ff.

an der möglichst geringen Masse nicht die mindeste Temperaturerhöhung erzeugen, daſs dagegen die Wärme im Conflicte der beiden Elektricitäten oder im Processe ihrer Ausgleichung zum Vorschein kommt. Daſs zu dieser Wärmeerzeugung die Luft nicht wesentlich nothwendig sey, ja daſs sie vielmehr die Wärmeerzeugung vermindert, indem sie vermöge ihrer Capacität einen Theil der thätig gewordenen Wärme latent macht, ergab sich gleichfalls aus diesen Versuchen, indem derselbe el. Strom, über die Kugel eines Thermometers geleitet, in demjenigen Verhältnisse mehr Wärme erzeugte, in welchem die Luft mehr verdünnt war. Die Wärme hat also ihren Ursprung weder einer mechanischen Compression der Luft, noch einem chemischen von der Luft abhängigen Processe (entweder einer Verbindung des Sauerstoffs mit dem Stickstoffe, oder einer Oxydation der Körper, über welche der el. Strom hingeht) zu verdanken. Würde die Ausgleichung der beiden Elektricitäten, ohne durch die Natur des Körpers, an welchem oder um welchen herum sie sich befindet, modificirt zu werden, lediglich im Verhältnisse der sich ausgleichenden Quantitäten eine Temperaturerhöhung geben, so könnte man unbedingt den Satz aufstellen, daſs die Elektricitäten selbst gebundenen *Wärmestoff* enthalten, der frei werde, sobald das ± E seinem stärkern Zuge zum ∓ E folge, um sich zu 0 zu vereinigen. Aber diesem widerspricht die Erfahrung. Wärme entsteht nur in dem Verhältnisse, in welchem die Elektricitäten, wenn gr sſe Quantitäten mit einander in Conflict kommen, in ihrer Ausgleichung Widerstand finden, oder in dem Verhältnisse, in welchem si nicht vollkommen geleitet werden. Gier bleibt also immer noc der mögliche Fall, daſs eine Reaction der Elektricitäten gege den relativ unvollkommenen Leiter, auf eine ähnliche Weis wie sonst durch Druck oder Reiben die höchsten Grade vo Hitze erregt werden können, die Quelle der Temperaturerhöhun werde. Indeſs stimmen hinwiederum manche Versuche, doc nur unvollkommen mit einer solchen Erklärung überein na mentlich der oben erwähnte van Marum'sche; wo es nicl recht zu begreifen ist, wie ein von dem Ende eines kleine hölzernen Cylinders ausgehender und um die Kugel des The mometers sich verbreitender el. Strom an dieser Kugel selb eine *Reibung* hervorbringen soll. Auch müſste man annehme daſs sehr dünne Platindräthe, die durch einen fortdauernd

el. Strom eines Hare'schen Calorimotors [1] in beständigem Weifsglühen erhalten werden können, und also fortdauernd Licht und Wärme ausstrahlen, gleichsam ein unerschöpfliches Magazin von beiden wären. Es ist also allen übrigen Erklärungen analoger, dafs die Quelle der Wärme sich in den Elektricitäten selbst finde, und dafs dieselbe durch ihre Reaction auf einander frei werde. Da nun nicht jede Art der Ausgleichung oder Verbindung der beiden Elektricitäten zu 0 Wärme erzeugt, sondern nur eine mit Widerstand verbundene, so läfst sich annehmen, dafs in Folge der damit gegebenen starken Verdichtung der Elektricitäten eine wahre Zersetzung derselben statt finde, und dafs mit dieser Zersetzung ihr vorher gebundener Wärmestoff frei werde. Es folgt daraus aber auch, dafs der so *zersetzte Antheil* für die Bildung von 0 verloren gehe, und da blofser Wärmestoff an und für sich noch nicht E. ist, so fragt sich, unter welcher Gestalt dann etwa jene andern Stoffe, welche im engern Sinne das eigentliche Grundwesen der Elektricitäten bilden, zu Vorschein kommen. Hier stellt sich uns indefs eine noch in Dunkel gehüllte Seite der E. entgegen. Dafs aufser der Wärme (und dem Lichte) noch etwas anderes bei dieser Zersetzung frei werde, zeigt der so höchst eigenthümliche und auffallende *Phosphorgeruch*. Auch manche Erscheinungen beim Einschlagen des Blitzes, wo durch schnelle Verdichtung grofse Massen von E. auf einmal zersetzt werden, deuten auf ein solches Präcipitat [2]. Ritter schlug vor, sehr vielmal nach einander grofse Batterieen durch einen Eisendraht sich entladen zu lassen, und dann nachzusehen, welche Veränderung er erlitten haben möchte. Vielleicht würde man dann jenen *eigenthümlichen el. Stoff*, den wir noch immer suchen, finden.

Auch den *Lichtstoff* hat man aus denselben Gründen wie den Wärmestoff in den Elektricitäten selbst anzunehmen. Wenn dieser, wie Röslin weitläuftig zu beweisen sucht, durch die E. erst bei ihrem Ausbruche, weil sie dann die umgebende Luft an Dichtigkeit übertreffe [3], der Luft entzogen werden soll, und zwar durch eine dann stärkere Anziehung, als die der Luft gegen ihn, so ist nicht abzusehen, wie er im Augenblicke der

1 S. *Galvanismus* und *Trogapparate*.

2 Vergl. *Blitz*.

3 Wie Luft und E. in Rücksicht auf Dichtigkeit einander vergleichbar seyen, ist nicht wohl begreiflich.

Anziehung auch wieder frei zu strahlendem Lichte wird. Auch steht dieser Erklärung der glänzende el. Funke bei der Berührung der Leitungsdrähte einer starken Volta'schen Säule unter Wasser, Oel u. s. w. entgegen. Die Befreiung des Lichtes beruht auf einem ähnlichen Zersetzungsprocesse durch bloſse Verdichtung (wobei DE LÜC's Theorie vollkommen anwendbar ist), doch entweicht das Licht noch leichter als die Wärme, da es mit viel gröſserer Expansivkraft als diese begabt, und daher loser gebunden ist; daher viele el. Lichterscheinungen ohne Wärmeveränderung.

Der *Unterschied* und *Gegensatz der beiden Elektricitäten* kann nicht bloſs in dem quantitativen Verhältnisse dieser beiden Inponderabilien (Wärme und Licht) liegen, da die so starke Anziehung jener gegen einander aus einer solchen Zusammensetzung gar nicht begreiflich wäre. Wir müssen vielmehr für jede derselben wie schon oben bemerkt ist, eine *eigenthümliche Grundlage* annehmen, die wir das *Elektrikon* im engern Sinne nennen wollen. Doch kann allerdings auch das verschiedene quantitative Verhältniſs jener Inponderabilien mit Antheil an ihrem verschiedenen Verhalten haben. Bei gleicher relativer Quantität des — E in Beziehung auf das + E, so daſs nie vollkommene Neutralisation aus ihrer Verbindung resultirt, bringt Letzteres gröſsere Wärme hervor. Dies zeigt sich sowohl in gewöhnlich el. als galvanichen Versuchen. Erstere sind in dieser Hinsicht weniger sicher, weil z. B. beim Entladen einer Leidner Flasche jedesmal Uebergewicht auf derjenigen Seite ist, von wo aus die Ladung erfolgt, und wo sich die freie Spannung befindet. Dagegen geben die galvanischen Versuche ein unzweideutiges Resultat, weil die beiden Pole einer Säule in der Gröſse ihrer Spannung einander vollkommen gleich sind. So fand z. B. CHILDERN in seinen Versuchen mit seinem galvanischen Riesenapparate von 20 Plattenpaaren von Zink und Kupfer, von 6′ Länge und 2′ 8″ Breite oder von 32 Quadratfuſs auf beiden Seiten zusammen, daſs unter ganz gleichen Umständen, als nämlich gleiche Menge von Quecksilber in zwei Schalen von gebranntem Thon mit den beiden Polen der Säule und unter sich durch Platindrähte von solcher Dicke und Länge, daſs der el. Strom sie stets rothglühend erhielt, in Verbindung gesetzt wurden, das Quecksilber am — Pole nach 20 Minuten

auf 112°, am + Pole dagegen auf 121° F. stieg[1], und wenn man eine mächtige Volta'sche Säule durch einen Kohlenstift von etwa 2—3″ Länge und 1‴ Dicke entladet, so fängt dieser Stift an beiden Enden an zu glühen, jedoch am + Ende etwas früher. Von diesem geringeren Verhältnisse des gebundenen Wärmestoffs in der negativen E. mag es auch herrühren, daſs bei gleicher Intensität die Funken aus dem negativen Conductor stets kürzer sind, als aus dem positiven, und die negativen Feuerbüschel sich viel weniger als die positiven ausbreiten. Einige Versuche scheinen darauf hinzudeuten, daſs der in beiden Elektricitäten gebundene Lichtstoff nicht von gleichartiger Beschaffenheit ist, sondern in demselben eine Art von polarischem Gegensatze wie im Sonnenspectrum statt finde.

Wenn man auf den el. Funken genau achtet, so kann man in sehr vielen Fällen die beiden Hälften, aus denen er besteht, schon an der Farbe von einander unterscheiden, besonders wenn die Funken nicht zu kurz sind, sondern die Auffangkugel beinahe die gröſste Entfernung hat, bei welcher noch Funken überschlagen; die positive Hälfte erscheint dann stets mehr purpurfarben, und die negative Hälfte blau, auch ist der weit ausgebreitete positive Feuerbüschel mehr von der erstern, der kurze negative Feuerbüschel mehr von der letzteren Farbe. Es wirkt aber gerade auch die positive E. gleich dem rothen Lichte mehr oxydirend und erwärmend, und die negative E. gleich dem blauen Lichte vielmehr desoxydirend und weniger erwärmend. Da indessen die Farbe des el. Funkens noch durch manche andere Umstände, insbesondere durch die Natur des Mediums, durch welches er hindurch schlägt, bestimmt wird[2], so ist diese auf einem Farbengegensatze in den beiden Elektricitäten gegründete Anzeige zweideutig.

Was endlich die Erregungsart der E. durch Reiben betrifft, welche hier vorzüglich in Betrachtung kommt, so scheint wenigstens soviel ganz ausgemacht, daſs sie von einem chemischen Processe, namentlich von einer Oxydation eines der beiden an einander geriebenen Körper durch die umgebende Luft ganz unabhängig ist, in welcher Hinsicht ich auf die obige Prüfung der Parrot'schen Oxydationstheorie verweise. Uebrigens ist der

1 G. XXII. 353.
2 S. *Funken, elektrischer.*

Vorgang hierbei noch in ein tiefes Dunkel gehüllt, dessen Zerstreuung weiteren Untersuchungen überlassen bleiben muſs. Daſs man solche Dunkelheiten durch bloſs Worte, die im Grunde nichts mehr enthalten als die nackte Erscheinung, nicht aufzuhellen vermöge, bedarf nicht erinnert zu werden. Dieses gilt z. B. von dem „Resultate aller Resultate,“ welches Jos. Weber aus seinen vielfachen Reibungsversuchen mit seidenen Bändern gezogen hat [1], wonach die E. nichts weniger als materiell, sondern die allgemeine Kraft in Form der Fläche sich manifestirend, und zwar das 0 E. die Synthese von Expansion und Contraction oder indifferent, das + E die dynamische Flächenkraft von positivem Charakter = Expansion, das — E die dynamische Flächenkraft von negativem Charakter = Contraction seyn soll, und der ganze Reibungs-Proceſs darin bestehe, daſs sich die indifferente Flächenkraft differenziire!! Ohngefähr von derselben Art sind die sogenannten naturphilosophischen Constructionen der E., welche Jos. Weber zum Vorbilde gedient haben, wie z. B. von Oken [2], wo Elektrismus eine Flächenfunction ohne alle Linie genannt wird, welche nur die *Spannung* der Oberflächen der Körper gegen einander sey. Weiterhin wird aber derselbe Elektrismus auch *Spannung der Luft* mit den einfachen Elementen, und also auch *Spannung der Luftprincipien* selbst genannt, ferner Duplicität geheftet an die beiden Luftprincipien Licht und Aetherspannung, erscheinend unter zwei Formen als *Lichtstoff*- und als *Schwerestoff*-elektrismus, ersterer das + E, das energischere, in sich selbst active, der Lichtelektrismus dargestellt im Sauerstoffe. Weniger willkürlich und sich genauer an die Erscheinungen anschlieſsend ist die gleichfalls aus gewissen höheren Principien einer a priorischen Physik abgeleitete Construction der Phänomene der E. von Dr. Bartels [3], doch ohne daſs auch durch diese Darstellung die wahren Dunkelheiten in dieser Lehre weiter aufgeklärt worden wären. Eine weitere Darstellung solcher

1 Das Wesen der E. u. s. w. Sulzbach 1819.

2 Lehrbuch der Naturphilosophie I. 112.

3 Anfangsgründe der Naturwissenschaft. 1stes Bänd., Leipz. 1821. S. 227 ff.

hyperphysischer Theorien liegt aufser dem Plane eines physikalischen Wörterbuchs [1]. *P.*

---

1 Zur Literatur über die Elektricitätslehre mögen aus der grofsen Menge von Schriften, worin dieselbe im Ganzen abgehandelt ist, nur diejenigen hier erwähnt werden, die auf irgend eine Weise Epoche machten, und auch in unsern Tagen noch einiges Interesse haben.

J. G. Krünitz. Verzeichnifs der vornehmsten Schriften von der E. und den el. Curen. Halle 1769. 8. Jos. Priestley. Geschichte und gegenwärtiger Zustand nebst eigenthümlichen Versuchen, übersetzt von J. G. Krünitz 1772. gr. 4. K. G. Kühn. Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche in dieser nützlichen Wissenschaft. Leipz. 1783. 1785. 2 Thle. 8. K. G. Kühn. Die neuesten Entdeckungen in der physikalischen und medicinischen E. als eine Fortsetzung der Geschichte u. s. w. 1ter Thl. Leipz. 1796. 8. 2ter Thl. Leipz. 1797. Lettres sur l'électricité par Mr. l'abbé Nollet. Paris 1753. 8. J. Alb. Euler disquisitio de causa physica electricitatis ab acad. scient. petropol. praemio ornata Petrop. et Lips. 1755. B. Franklin's Briefe von der E. aus dem Engl. übers. mit Anmerkungen von Wilke. Leipz. 1758. 8. F. U. Th. Aepinus tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petrop. (1759) 1787. 4. Tib. Cavallo vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der E. aus dem Engl. übers. von J. S. T. Gehler 1777. 4. Ausg. von Baumann. Leipz. 1797. 2. Bd. 8. J. Ingenhouss. Anfangsgründe der E. aus dem Engl. von Molitor Wien. 1781. 8. J. A. Donndorf. Lehre von der E. theoretisch und praktisch auseinander gesetzt. Erfurt 1784. 2 Thl. 8. Adam's Versuch über die E. aus dem Engl. Leipz. 1785. 8. John Cuthbertson's Abhandlung von der E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1786. 8. Martinus van Marum. Beschreibung einer ungemein grofsen Elektrisirmaschine und der damit im Teyler'schen Museum zu Haarlem angestellten Versuche. Aus dem Holl. Leipz. 1786. 4. Erste Fortsetzung aus dem Holl. Leipz. 1788. 4. Zweite Fortsetzung. Leipz. 1798. 4. Lord Mahon. Grundsätze der E. aus dem Engl. mit Anm. von Seeger. Leipz. 1789. 8. Lichtenbergs Zusätze zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. Sechste Auflage. Gött. 1794. 8. Joh. Ant. Heidmann, Vollständige auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie der E. zwei Bände Wien 1799. 8. Hauy's Darstellung der Theorie der E. und des Magnetismus. Aus dem franz. übers. von D. Karl Murhard. Altenburg, 1801. 8. J. W. Ritter das el. System der Körper. Leipz. 1805. 8. M. Gälle. Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommung der Elektricitätslehre. Salzburg. 1816. 8. 2 Bde. G. J. Singer. Elemente der E. und Elektrochemie. Aus dem Engl. von C. H. Müller. Berlin 1819. Chr. L. Röslin Kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre. Ulm 1823. 8. Sammlung elektrischer Spielwerke für junge Elektriker. 9te Auflage mit 9 Kupfern. gr. 8. Nürnberg. 1804.

Elektricität, medicinische.

Electricitas medica; Électricité medicale; *Medical Electricity.* Unter diesem Namen werden die Anwendungen der E. in der Medicin als Heilmittel gegen verschiedene Krankheiten, und als Widerbelebungsmittel im Scheintode begriffen.

So wie die Wirkungen der E. durch Erfindung der Elektrisirmaschine, noch mehr aber durch die der Kleist'schen Flasche vorzüglich auf den menschlichen Körper in einem so hohen Grade verstärkt worden waren, konnte der Gedanke nicht lange ferne bleiben, die E. auch als Heilmittel in Krankheiten anzuwenden. Einige auffallende Curen bedeutender Krankheiten brachten dieses Mittel erst in sehr grofsen Ruf; da die zu hochgespannten Hoffnungen indefs nicht immer erfüllt wurden, und bei der damals noch unvollkommenen Theorie auch Mifsgriffe unvermeidlich waren, kam das erst so hoch gepriesene Mittel wieder in Mifscredit. Erst nach Irrthümern und Uebertreibungen kam man allmälig zur richtigen Würdigung desselben, und da in spätern Jahren bei dem steigenden Interesse an der E, sowohl Physiker als Aerzte sich häufig mit der Anwendung dieses Mittels in Krankheiten beschäftigten, so haben wir dadurch einen reichen Vorrath von Erfahrungen gewonnen, aus welchem sich jetzt mit hinlänglicher Sicherheit allgemeine Resultate über die Wirkungsart und die Heilkräfte der E. so wie Vorschriften für ihre Anwendung ableiten lassen. Wir schränken uns hier nur auf das Wesentlichste ein, soweit die eigentliche Physik hierbei eine Stimme hat und zur Aufklärung und Leitung des Arztes beitragen kann, da das genauere Detail vorzüglich über die glückliche Anwendung der E. in verschiedenen Krankheiten mehr in die Arzneikunde gehört.

I. Das Historische.[1]

Kratzenstein wird als der erste angeführt, der im Jahre 1744 zu Halle die Lähmung eines Fingers durch E. gehoben hat. Im Jahre 1748 heilte Jallabert zu Genf eine durch den Schlag eines Hammers entstandene Lähmung des Arms durch Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen, worauf Sauvages zu Montpellier diese Curen vervielfältigte und berühmt machte. Die unschickliche Wahl der Behandlung verursachte

aber gerade in dieser ersten Periode, daſs die Proben nicht stets so ausfielen, als man wünschte, unstreitig darum, weil man die Kranken durch allzustarke Schläge aufs heftigste angriff und fast miſshandelte. Daher wurden die Meinungen sehr getheilt und häufige Streitschriften gewechselt. Dr. HART [1] und FRANKLIN [2] führen Fälle an, wo die E. nicht geholfen, vielmehr wohl gar geschadet haben soll, aber FRANKLIN verfehlte die erst später in ihrem ganzen Umfange erprobte gelindere Anwendungsart der E. LOWER [3] schlug zuerst diese gelindere Behandlung durch einfaches Elektrisiren auf dem Isolirgestelle, Funken und höchstens schwache Erschütterungen vor, und verrichtete auf diesem Wege so wie der berühmte WESLEY eine groſse Menge glücklicher Curen. Auch DE HAEN [4] erklärte sich sehr für den medicinischen Gebrauch der E., wovon FERGUSON [5] und HARTMANN [6], in ihren damals erschienenen Schriften viele vortheilhafte Beispiele anführen. Von dieser Zeit an ist der Gebrauch der E. in Krankheiten vorzüglich durch die englischen Aerzte empor gekommen, namentlich durch PARTINGTON [7], dem man insbesondere die Einführung der sogenannten *Directoren* verdankt, FOTHERGILL [8] BIRCH [9] u. a. CAVALLO erwarb sich ein besonderes Verdienst durch eine diesem Gegenstande eigends gewidmete Schrift [10]. Doch auch die deutschen und holländischen Physiker und Aerzte blieben nicht zurück, unter welchen vorzüglich genannt zu werden verdienen: KÜHN [11],

1 Philos. Transact. XLVIII. P. II. p. 786.

2 Philos. Transact. Vol. L. P. II. p. 481.

3 Electricity rendered useful. London 1760. 8.

4 Ratio medendi Vol. I. p. 234.

5 Introd. to electricity. London 1770. 8. Sect. 8.

6 Die angewandte E. bei Krankheiten des menschlichen Körpers. Hannover 1770. 8.

7 Cavallo's vollst. Abhandl. der E. Bd. II. Leipz. 1797. S. 57 ff.

8 Philos. Transact. Vol. LXIX.

9 Considerations on the efficacy of electricity in removing female obstructions etc. übers. in der Sammlung auserlesener Abhandl. zum Gebrauche praktischer Aerzte. V. St. 4. N. 1.

10 Essay on the theory and practice of medical electricity London 1780.

11 Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche, die in dieser nützlichen Wissenschaft gemacht worden sind. Leipz. 1785. 2 Thle.

Böckmann [1], Wilh. van Barneveld [2], van Troostwyck, Krayenhoff [3] und Deimann [4]. Trotz der vielen günstigen, Erfahrungen, welche diese verschiedenen Schriften enthalten, wird indeſs die E. in der jetzigen medicinischen Praxis doch nur selten angewandt, weil die Mittel dazu zu umständlich und wohl auch zu kostbar sind, und in neuern Zeiten ist sie vollends durch die Anwendung des Galvanismus verdrängt worden.

II. Verschiedene Anwendungsarten der E. in Krankheiten und dabei gebräuchliche Werkzeuge.

Man kann die E. zur Heilung der Krankheiten in sehr verschiedenen Graden anwenden, welche nach der besondern Form, in welcher die E. hierbei wirkt, auf fünf Hauptabstufungen zurückgebracht werden können, nämlich 1. das el. Bad.; 2. das unmerkliche el. Durchströmen. 3 der el. Hauch oder das el. Ausströmen; 4. die Funken; 5. die el. Schläge oder die verstärkte E. Jede dieser 5 Hauptarten läſst wieder in Rücksicht auf die Stärke ihrer Einwirkung mannigfaltige Modificationen zu.

1. *Das el. Bad.* Hierbei wird der Körper des Kranken gleichsam mit E. angefüllt, indem man denselben isolirt, und mit dem Leiter der Elektrisirmaschine in unmittelbare Verbindung setzt. Zu dieser so wie zu einigen der nachfolgenden Anwendungen ist ein gut eingerichtetes *Isolatorium* erforderlich. Dieses wird am besten aus einem hinlänglich groſsen und starken Brette von gut ausgetrocknetem Holze, um nöthigenfalls einen Stuhl darauf setzen zu können, verfertigt, das an den Ecken abgerundet gut lackirt ist, und auf vier starken, einen guten halben Fuſs langen, wohl überfirniſsten, massiven Glassäulen ruht. Böckmann hat für gewisse Fälle ein el. *Bette* vorgeschlagen, wo-

---

1 Ueber die Anwendung der E. bei Krankheiten. Durlach 1787

2 Medicinische E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1787. 8.

3 De l'application de l'électricité à la médecine 1788. 4.

4 Von den guten Wirkungen der E. in verschiedenen Krankheiten. Aus dem Holländischen. Mit Anmerkungen und Zusätzen von Kühn. Kopenhagen 1793. 2 Bde.

von das Wesentliche in Folgendem besteht. Das *Bettgestell* wird von einem sehr trockenen, mit Firniſs überzogenen, oder noch besser von einem im Backofen gedörrten und mit Oel getränkten Holze gemacht, und von 6—8 gläsernen mit Siegellack überzogenen Füſsen getragen. Die *Bettstücke* bestehen aus 1 bis 2 Haar-Matratzen, 1 oder 2 ähnlich gefüllten Kissen und einer leichten Decke. Die übrigen Apparate, die zu diesem Bette gehören, beziehen sich auf die zweckmäſsige Zuleitung und Einwirkung der E. auf den Kranken und die einzelnen Theile desselben, von denen im Fortgange die Rede seyn wird. Zwischen dem Kranken, der sich auf dem Isolatorium oder in dem isolirten Bette befindet, und dem Conductor der Maschine wird eine Verbindung durch eine Kette gemacht, an welcher alle Spitzen und scharfe Ecken, um das Ausströmen zu verhüten, so viel möglich zu vermeiden, und deren Gelenke von etwas dickerem Metalldrahte zu verfertigen sind. CAVALLO empfiehlt zu eben diesem Zwecke sehr passend die leitende Verbindung aus Gold-, Silber- oder Kupferfäden zu machen, dergleichen man zu den Tressen gebraucht, und welche aus dünnen Metallblättchen bestehen, die um einen seidenen oder leinenen Faden gewunden sind. Um einige solcher Metallfäden wickelt man ein seidenes Bändchen dicht herum, und näht es zusammen, so daſs nur an jedem Ende ein kleines Stück der Metallfäden unbedeckt bleibt, von welchem das eine an dem ersten Leiter, das andere an einem Theil des Kranken, der zu diesem Behuf eine Hülle von Flanell mit Rauschgold oder unächtem Goldschaum gefüttert und mit einem Oehre versehen, bedeckt seyn kann. In andern Fällen kann man die E. auch mit andern Instrumenten unmittelbar auf den Kranken einwirken lassen. Die Verbindungskette wird der *Zuleiter* genannt. Von der Anwendung des el. Bades ist wohl am wenigsten zu erwarten, da die E. überhaupt nur in ihrem freien Durchströmen sichtbare Wirkungen auf den menschlichen Körper hervorbringt, und da schon oben[1] angeführte Versuche bewiesen haben, daſs die Beschleunigung des Pulses und Vermehrung der Ab- und Aussonderungen, insbesondere der unmerklichen Ausdünstung, welche man dieser Anhäufung der E. im menschlichen Körper, an dessen Oberfläche sie indeſs nur verdichtet ist,

---

1 Vergl. *Elektricität*.

zugeschrieben hat, in der Erfahrung der Regel nach nicht gegründet sind. Da indeſs gewisse Personen für die E. sehr empfindlich sind, und doch immerfort ein Abfluſs der zum Kranken geleiteten E. durch die Haare und durch die unmerkliche Ausdünstung geschieht, der bei einem reichlichen Zuflusse von einer sehr wirksamen Maschine aus in Betracht kommen kann, so läſst sich der Nutzen, welchen das el. Bad in einzelnen Fällen geleistet hat, nicht durchaus bezweifeln.

2. *Das mehr unmerkliche Durchströmen der E. durch den Körper.* Die Bedingung zu demselben ist, daſs die E. durch einen ununterbrochenen Leiter, von dem Conductor aus, welchem die E. von der Elektrisirmaschine zugeführt wird, nach dem Erdboden oder dem entgegengesetzten Conductor abgeleitet werde, und der Theil des menschlichen Körpers, auf welchen dieser ununterbrochene Strom wirken soll, einen Theil dieser Leitung bilde. Wenn man irgend einen Theil zwischen zwei Zuleiter einschlieſst, wovon der eine mit dem positiven Conductor, der andere mit dem isolirten Reibzeuge verbunden ist, so geht gleichsam ein doppelter el. Strom durch denselben, der negative von dem Reibzeuge, der positive von dem Conductor her, und diese Anwendungsart des sogenannten unmerklichen el. Stromes ist unstreitig die wirksamere, wenn gleich auch bei einer bloſs einseitigen Verbindung des zu elektrisirenden Theils mit dem einen oder andern Conductor und der Ableitung von der andern Seite nach dem Erdboden in gewissem Sinne ein doppelter Strom statt findet, der nur von der 0 Seite her immer schwächer ist, als von derjenigen Seite aus, von welcher der Strom durch die freie E. eingeleitet wird. Wenn gleich dieser unmerkliche el. Strom, selbst von der stärksten Elektrisirmaschine ausgehend, keine Empfindung oder sonstige unmittelbar bemerkliche Veränderung in dem durchströmten Theile hervorbringt, so ist demselben doch nicht alle Wirksamkeit abzusprechen, da namentlich die Erfahrung einen bemerklichen Einfluſs auf die Beförderung der monatlichen Reinigung bewiesen hat, wenn dieser Strom quer durch das weibliche Becken geleitet worden ist, indem man einerseits den positiven Zuleiter in die Gegend der Lendenwirbel in ein Häkchen an den Kleidungsstücken, oder noch besser, in einem die Haut unmittelbar bedeckenden, mit unächtem Golde gefütterten Flanel einhängte, während der negative Zuleiter in den Schooſs de

sitzenden Kranken gelegt wurde. Es gilt übrigens für die Anwendungsart dieses doppelten el. Stromes alles dasjenige, was noch unter dem Artikel *Galvanismus* und *Volta'sche Säule* über die Anwendung des Stromes dieser letztern vorkommen wird, mit dem er im Wesentlichen übereinstimmt, dem er jedoch an Intensität weit nachsteht.

5. *Der el. Hauch oder Wind, oder das el. Ausströmen.* Dies ist eine vorzüglich wirksame Methode des Elektrisirens in Krankheiten, die vorzüglich der Engländer PARTINGTON eingeführt hat, welche oft allein zur Heilung hinreicht, und mit welcher man in sehr vielen Fällen am besten den Anfang macht. Sie besteht wesentlich darin, dafs man den aus Spitzen, nach Beschaffenheit dieser letzteren, mit verschiedener Stärke ausströmenden el. Feuerbüschel auf den kranken Theil wirken läfst. Zunächst bringt er zwar die Empfindung eines sanften Windes oder Hauches hervor, aber länger auf sehr empfindliche Theile z. B. die Augen einwirkend, erregt er zuletzt das Gefühl einer leichten Wärme, und vermehrt die Absonderung der Thränen. Man bedient sich eigener sogenannter *Directoren*, welche aus geraden oder am Ende gebogenen messingenen Stäben bestehen, die durch gut überfirnifste Handgriffe in Glas isolirt, mit einem Haken versehen sind, um den Zuleiter bequem einhängen zu können, und auf deren Enden zugespitzte Kegel theils von Metall, theils von Holz sich aufschrauben lassen. *Metallene* in eine feine Spitze auslaufende *Kegel* geben den mildesten Strom, einen stärkeren etwas *abgestumpfte*, den stärksten aber Kegel von nicht zu trockenem Holze, am besten Buchsbaumholze, die man von einer Länge von 1 bis 1,5 Zoll mehr oder weniger spitz auslaufend nimmt, und deren Strom aus einer grofsen Anzahl ungemein kleiner Funken besteht, die sehr bald in dem Theile, auf welchen sie wirken, Wärme erzeugen. Man kann auch diesen Strom auf den Kranken wirken lassen, indem man ihn auf dem Isolatorium mit dem isolirten Leiter in Verbindung setzt, und die Spitze, die dann selbst mit dem Erdboden leitend verbunden seyn mufs, dem zu elektrisirenden Theile nähert. Da man diese el. Ausströmung am häufigsten auf die Augen anwendet, Fig. so ist es zweckmäfsig, den Kegel in einer weiten Glasröhre zu 35. befestigen, und zwar so, dafs sein hinteres abgestumpftes Ende aus der Glasröhre hervorragt, das bei der zweiten Art der An-

wendung zum Handgriffe dient, das vordere zugespitzte Ende hingegen einige Linien tief in der Röhre zurücksteht, um jede Verletzung des Auges durch die Spitze zu vermeiden. Indem man die hölzerne Spitze mit angemessenen Flüssigkeiten z. B. mit Kamphergeist, Rosmarinöl, Kajaputöl u. s. w. befeuchtet, oder bei Anwendung eines Metallconus an ihrem zugespitzten Ende ein mit diesen Flüssigkeiten getränktes Schwammstückchen befestigt, so kann man sehr bequem jene in Dunst sich verwandelnden Flüssigkeiten auf eine gelinde Art auf das Auge einwirken lassen.

Um den el. Strom tief in das Innere des Gehörganges zu bringen, bedient man sich einer Glasröhre von der Dicke Fig. 36. eines Pfeifenstiels, welche hinlänglich stark in ihren Wandungen ist, damit sie nicht leicht zerbrochen werden könne, 3 bis 4″ lang, in ihrem Innern einen dünnen Messingdraht enthaltend, welcher von dem einen Ende kaum aus der Oeffnung der Glasröhre hervorragt. Um ihn in dieser Lage zu erhalten, schmelzt man die Glasröhre an diesem Ende um ihn her zu. Dadurch wird dieser Theil, welcher bestimmt ist, in den Gehörgang gebracht zu werden, kuglich und abgerundet, das entgegengesetzte Ende des Messingdrahtes steht aus der Glasröhre hervor und ist hakenförmig umgebogen, um den Zuleiter einhängen zu können.

4. *Einfache Funken.* Man kann sie entweder aus dem Theile des auf dem Isolatorium befindlichen, und mit dem Conductor leitend verbundenen Kranken *ausziehen*, oder dem nicht isolirten Kranken vermittelst des am isolirten Handgriffe gehaltenen, und durch den Zuleiter mit dem Conductor der Maschine verbundenen, Directors *zuführen*, an dessen Messingdraht vorn statt des zugespitzten Conus eine Kugel aufgeschraubt ist. Kleine, aber sehr stechende, empfindliche Funken giebt eine auf den Director aufgeschraubte Kugel von hartem Holze. Führt man über den mit Flanell oder Baumwolle bedeckten, zu elektrisirenden Theil den Funkenzieher mit seiner Kugel unmittelbar hin und her, so bekommt dieser Theil eine Menge kleiner Funken, welche sehr bald Röthe der Haut und vermehrte Wärme hervorbringen. Um die Funken zu verstärken, kann man die Haut mit Oel einreiben; sie werden dann viel lebhafter empfunden und eine viel stärkere Röthe hervorbringen, als dieselben Funken an andern Stellen. Der

stärkere Widerstand des nicht leitenden Oels verursacht bei derselben Entfernung des Funkenziehers die Nothwendigkeit einer gröſseren Anhäufung der E. im Conductor.

Sollen sehr empfindliche Theile z. B. die Zunge, die Augen, das innere Ohr die Wirkung der Funken empfinden, so bedient man sich im Anfange sehr kleiner Kugeln, oder auch nur abgerundeter Drähte. Aus den geschlossenen Augenliedern nimmt man kleine Funken, und zugleich dann und wann aus dem obern und untern Rande der Augenhöhle, um den Ober- und Unter-Orbitalnerven zu treffen. Doch kann man auch aus dem Augapfel unmittelbar Funken zu ziehen veranlaſst seyn. Um Funken in das Innere des Gehörorgans zu leiten, bringt man den oben beschriebenen Draht in den Gehörgang so tief wie möglich, isolirt den Kranken, und zieht aus dem zum Haken umgebogenen Ende des Messingdrahtes den Funken aus. Bei Gehörkrankheiten kann man auch stärkere Funken aus dem zitzenförmigen Fortsatze ausziehen. Fig. 36.

5. *Elektrische Schläge.* Den stärksten Grad der Elektrisirung gewähren endlich die el. Schläge oder Erschütterungen. Zur Anwendung derselben bedient man sich am besten einer Ladungsflasche mit dem Lane'schen Ausladeelektrometer[1], durch das man dieselbe von den schwächsten Graden an bis zu jedem stärkeren sicher reguliren kann. Um die Schläge durch einen beliebigen Theil des Körpers zu leiten, bringt man diesen Theil in den Entladungskreis, indem man denselben zwischen zwei Zuleiter bringt, wovon der eine in den Ring der isolirten Metallstange gehängt wird, welche mit ihrer Kugel der Kugel des Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung der Flasche gegenübersteht, und der andere mit der äuſsern Belegung verbunden ist. Als Beispiel diene die Art, wie z. B. eine el. Erschütterung auf diese Weise durch den vordern Theil des Armes hindurchgeleitet wird. GH ist die Ladungsflasche, B die Kugel des Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung C E D F das Lane'sche Ausladeelektrometer, dessen isolirte Metallstange mit ihrer Kugel in einer bestimmten Entfernung der Kugel B gegenüber ist, von welcher Entfernung die Stärke des Schlages abhängt, die beiden Zuleitungsdrähte der positiven E. (wenn nämlich die Flasche im Innern mit positiver E. geladen ist) und der negative I sind mit Fig. 37.

1 S. *Elektrometer.*

den Metalldrähten der Directoren KL und K'L' verbunden, die vorzüglich geschickt sind, den Schlag durch jeden beliebigen Theil zu führen, indem sie auf die Enden desselben gesetzt werden. In dem gegebenen Falle geht der positive Strom den Arm abwärts. Bei entgegengesetzter Verbindung der Zuleiter würde er die umgekehrte Richtung nehmen. Bringt man die Kugel der Metallstange des Ausladeelektrometers bis auf 0,5 Linie oder selbst noch näher der Kugel der inneren Belegung gegenüber, so kann man bei einer Flasche von höchstens einem Quadratschuh Belegung auf der einen Seite mit sehr schwachen Schlägen den Anfang machen, und allmälig zu stärkeren durch Ausziehen der Stange bis zur Entfernung von einem Zolle und darüber steigen. Hat man kein Ausladeelektrometer, so kann man auch mit den bloſsen Directoren, wie leicht einzusehen ist, ausreichen, wobei die Stärke der Ladung, aber nicht mit derselben Sicherheit, nach der Zahl der Umdrehungen der Scheibe oder des Cylinders der Elektrisirmaschine bestimmt wird. Bei der Durchleitung des el. Schlages ist es oft sehr rathsam, an den zu elektrisirenden Theil eine mit einem Oehre zum Einhängen des Zuleiters versehene Bleiplatte anzubringen, damit der Schlag nicht zu heftig auf einen einzelnen Punct wirke. Eine eigenthümliche Modification der Entladung erhält man auch, wenn eine nasse Schnur einen Theil des Entladungskreises von der inneren Belegung aus bildet, wodurch der Schlag einigermaſsen mehr successiv gemacht wird. Zu solchen el. Erschütterungen in krankhaften Affectionen ist eine Flasche von höchstens einem Quadratfuſs Belegung auf der einen Seite vollkommen hinreichend, wozu man sich eines Zuckerglases, das höchstens 32 Unzen hält, und das innen und auſsen bis etwa zwei Zoll vom oberen Rande abwärts mit Stanniol belegt ist, bedienen kann.

Wenn man die Zuleiter auch nicht unmittelbar an den Theil, durch welchen man el. Schläge hindurchleiten will, anbringen kann, so muſs man solche Stellen auswählen, die demselben am nächsten und so gelegen sind, daſs wenigstens in dem Zwischenraume zwischen denselben der Theil sich befindet, auf welchen die E. einwirken soll. Besonders hat man hierbei auf die Lage und Richtung der Nerven, welche sich in den zu elektrisirenden Theil verbreiten, Rücksicht zu nehmen

III. Wirkungsart der E. im Allgemeinen auf den menschlichen Körper.

Die E. in ihrem Durchgange durch reizempfängliche Theile beweist sich im Allgemeinen als ein *mächtig eindringendes Reizmittel für die Nerven*, durch welche sie ihre Wirkung auf alle Theile ausdehnt, die ihr Leben hauptsächlich der Nerventhätigkeit verdanken; vorzüglich kräftig ist die Einwirkung dieses Reizmittels auf die Muskeln. Schon bloſse Funken, noch mehr el. Erschütterungsschläge bringen unwillkürliche Zuckungen in den unterhalb der Stellen, auf welche die E. unmittelbar einwirkt, gelegenen Muskeln hervor, die nicht immer durch die Empfindung vermittelt werden, denn selbst in gelähmten, der Empfindung beraubten, in ihrer thierischen Wärme herabgesunkenen und geschwundenen Gliedmaſsen erregt sie noch sehr bemerkbare Zuckungen, die nur in den seltensten Fällen[1] fehlen. Durch diesen Nervenreiz wirkt aber die E. nicht bloſs auf die eigentlichen Muskeln, sondern auch auf das Gefäſssystem, erhöht die Thätigkeit desselben, befördert dadurch den Zufluſs der Säfte und die Fortbewegung derselben, und beschleunigt in Folge dieser erhöhten Thätigkeit auch die animalisch chemischen Processe, womit Wärmeerhöhung gegeben ist. Es versteht sich von selbst, daſs die E. durch ihren kräftigen Einfluſs auch die Thätigkeit der eigentlichen Empfindungsnerven erhöht, und durch den Schmerz, den sie verursacht, noch einen accessorischen Reiz hinzufügt. Da die Erneuerung und Wiederherstellung der Lebenskraft wesentlich auf der Lebensthätigkeit der Theile selbst und insbesondere des Gefäſssystems beruht, so begreift man leicht, daſs die E. in gewissem Sinne auch als ein unmittelbar belebendes, die Reizbarkeit und Empfindlichkeit selbst wieder herstellendes, Mittel betrachtet werden kann. Dieselbe E. vermag aber auch durch zu heftigen Reiz und davon abhängige Ueberreizung die Reizempfänglichkeit eines Theiles entweder gänzlich oder auf einige Zeit aufzuheben, welche nach Umständen durch gelindere Grade der E. wieder hergestellt werden kann, wie man dann merkwürdige Fälle hat, daſs durch einen heftigen Blitzschlag in den Zu-

1 Kühn fand in 150 Fällen, die er von verschiedenen Beobachtern gesammelt hat, nur einen, in welchem sie ausgeblieben waren.

stand des Scheintodtes versetzte durch gelinde el. Schläge wieder ins Leben zurückgerufen worden sind[1]. Die genannten Wirkungen werden nur durch lebhafte Durchbewegung der E. mit einem grofsen Grade von Spannung durch die belebten Theile des menschlichen Körpers hervorgebracht, und eine blofse Anhäufung derselben mit relativer Ruhe, wie im el. Bade, kann nur in soweit als wirksam betrachtet werden, als durch das Ausströmen doch auch eine gewisse Bewegung desselben unterhalten wird.

Zwischen der Wirkung der positiven und negativen E. auf den menschlichen Körper als Heilmittel hat man bis jetzt keinen eigentlichen Unterschied wahrnehmen können. Wenn man die Analogie der galvanischen Erscheinungen zu Hülfe nimmt, so kann man annehmen, dafs die von dem Centralende nach dem peripherischen Ende der Muskelnerven abwärts strömende + E einen stärkern Reiz auf dieselben ausübt, als die in gleicher Richtung sich bewegende — E. Ob aber letztere bei dieser Art ihrer Einwirkung die Reizbarkeit der Muskeln auf eine directe Art zu erhöhen im Stande sey, wie dieses von dem in dieser Richtung sich bewegenden negativen Strome der *galvanischen* E. gilt, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an Erfahrungen.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Einwirkung der E. auf den menschlichen Organismus, läfst sich ihre Anwendung im Allgemeinen leicht bestimmen. In allen ächt entzündlichen Krankheiten und namentlich in allen Schmerzen, welche entzündlicher Art sind, in allen activen Congestionen und davon abhängigen anderweitigen krankhaften Zufällen kann die E. nur *schädlich* wirken. *Nützlich* ist sie dagegen in allen Krankheiten, welche von Torpor und Atonie der Gefäfse, und geschwächtem Nerveneinflusse abhängen, namentlich in allen Arten von Lähmungen sowohl der Sinnes- als der Bewegungsnerven, in manchen krampfhaften Krankheiten, entweder durch Aufreizung der Antagonisten der im Krampfzustande befindlichen Muskeln, oder durch Hebung einer kränklichen Reizbarkeit, in Krankheiten der Ab- und Aussonderungsorgane, welche von Unthätigkeit der Gefäfse oder von einem krampfhaften Zustande abhängen, davon abhängigen passiven Congestionen, Ge-

1 S. *Blitz*.

schwülsten, und sogenannten Verstopfungen, endlich in nervösen Schmerzen, welche sich zu den entzündlichen Schmerzen wie Kälte zu Hitze verhalten. Nur insofern, als die E. durch örtlichen Reiz das Leben eines äufseren Theils erhöht, Zufluſs der Säfte zu demselben, Röthe und Wärme hervorbringt, kann sie nach Art der sogenannten Ableitungsmittel auch in *entzündlichen* Krankheiten innerer Organe von Nutzen seyn.

IV. Allgemeine praktische Regeln bei Anwendung der E.

Cavallo hat diese Regeln sehr gut nach den vielen Erfahrungen englischer Aerzte festgesetzt. Sie sind folgende: 1. *Man muſs jedesmal mit den schwächeren Graden der E. den Anfang machen*, da es manche Kranke giebt, die für diesen Reiz auch in seiner gelindesten Einwirkung sehr empfindlich sind[1], und durch die gleich zu Anfange angewandten stärkeren Grade leicht überreizt werden könnten. Hat man die Behandlung einige Tage lang unwirksam gefunden, welches man daran erkennt, daſs keine merkliche Reaction, insbesondere keine Röthe der Theile, auf welche die E. unmittelbar eingewirkt hat, erfolgt ist, so kann man zu den stärkeren Graden übergehen, von denen man nachher wieder abwärts steigt, so wie sich im Laufe der Versuche eine erhöhte Reizempfänglichkeit für dieselben entwickelt.

2. Da die el. Ausströmungen und Funken sich vorzüglich wirksam bewiesen haben, von diesen aber und insbesondere von den ersteren in keinem Falle eine zu heftige Einwirkung zu befürchten ist, ihr Nutzen aber doch wesentlich darauf beruht, daſs sie mit einer gewissen Intensität wirken, so ist zur medicinischen E. *stets eine etwas stärkere Elektrisirmaschine nöthig*, eine solche nämlich, die aus ihrem ersten Leiter Funken von wenigstens drei Zollen giebt, denn el. Schläge, die man auch mit Hülfe kleiner Maschinen sehr weit treiben kann, können die Ausströmungen und Funken in *keinem Falle* ersetzen. Daher sind die kleinen englischen Patentscheibenmaschinen, deren Scheiben etwa 9″ im Durchmesser haben, und bei denen eine

1 Sestelin führt ein Beispiel von einer Person an, die schon in der durch die Bewegung einer Elektrisirmaschine elektrisirten Luft Leibweh und Durchlauf bekam.

Leidner Flasche statt des ersten Leiters dient, für den ganzen Umfang der medicinischen Anwendung der E. nicht geeignet, da sie eigentlich nur den Gebrauch el. Schläge zulassen, jedoch für einen Rettungsapparat sind sie allerdings zu empfehlen, da sie bei ihrer Kleinheit ungemein leicht transportirt werden können, und bei der Wiederbelebung von Scheintodten el. Erschütterungen die Hauptsache thun müssen.

3. Die *Zeit* und die *Dauer* der Anwendung betreffend ist die *Vormittagszeit* in der Regel die angemessenste, die Dauer aber nach der *Form der Anwendung* und nach dem *Zeitraume, während dessen man die E. bereits angewandt hat*, zu bestimmen. Die el. Ausströmung muſs man wenigstens 3, höchstens 10 Minuten einwirken lassen, Funken kann man 50 bis 100 nach der Reihe geben, und im Fortgange mit der Zahl steigen, doch mit der Vorsicht, daſs man bei fortgesetztem Gebrauche sie nicht immer auf dieselbe Stelle schlagen läſst, da sie sonst Geschwüre, die oft hartnäckig zu heilen sind, verursachen. Erschütterungsschläge darf man höchstens 15 nach der Reihe durch einen Theil gehen lassen. Die totale Dauer der Anwendung der el. Kur läſst sich schwer bestimmen, doch hat die Erfahrung gelehrt, daſs bisweilen erst nach mehreren Wochen die Besserung sich einzustellen angefangen hat.

4. Nach der allgemeinen Regel, daſs ein Reizmittel bei lange fortgesetzter Anwendung an Wirksamkeit verliert, und wenn der Gebrauch desselben eine Zeitlang ausgesetzt wird, die Reizempfänglichkeit für dasselbe wieder zunimmt, besonders wenn in der Zwischenzeit ein antagonistisches Reizmittel gebraucht worden ist, sollte man die *positive* Elektrisirung von Zeit zu Zeit mit der *negativen* abwechseln lassen, sowohl beim Gebrauche der el. Ausströmung, als auch bei demjenigen der el. Funken und Schläge, indem man die Anlegung der Zuleiter so ändert, daſs wenn einige Tage hindurch die positive E. die Nerven nach ihrem peripherischen Ende hin durchströmt hat, ihr alsdann einige Tage hindurch die entgegengesetzte Richtung gegeben wird, ehe man sie auf die erste Art anwendet.

5. Bei Schwangern müssen alle el. Erschütterungen überhaupt und selbst alle el. Strömungen durch die untere Gegend des Leibes sorgfältig vermieden werden, da sonst leicht zum Miſsgebähren Veranlassung gegeben werden könnte.

V. Einzelne Krankheiten, in welchen sich die E. vorzüglich wirksam bewiesen hat, und besondere Regeln für den Gebrauch derselben.

1. *Lähmungen der Muskeln.* Ueber den Nutzen der Elektrisirung in dieser Classe von Krankheiten findet man die ersten Beispiele in den Schriften über medicinische E., und zwar sowohl in Lähmungen nach Schlagflüssen als in gichtischen Lähmungen, in solchen, welche durch mechanische Gewalt, z. B. nach einem heftigen Falle entstanden, endlich selbst in solchen, welche auf Bleikolik folgten. Man fängt gleich mit der el. Ausströmung an, indem man den Kranken auf das Isolatorium bringt, das äufsere Ende des gelähmten Gliedes durch einen Zuleiter mit dem isolirten Reibzeuge in Verbindung setzt, und dem, dem Rumpfe am nächsten gelegenen Ende, besonders aber derjenigen Gegend, wo sich die grofsen Nervengeflechte, die das Glied versorgen, am nächsten befinden, den hölzernen Conus, der durch einen Zuleiter mit dem positiven Conductor verbunden ist, gegenüber hält. Man kann diese Einwirkung ¼ bis ½ Stunde fortsetzen, und nachdem man einige Tage damit fortgefahren, zu einfachen allmälig stärkeren Funken übergehen, welche längs dem Verlaufe der Hauptnerven des gelähmten Gliedes aus dem isolirten und mit dem positiven Conductor verbundenen Kranken ausgezogen, oder auch demselben im nicht isolirten Zustande durch den mit der Kugel versehenen Director beigebracht werden. Bei gichtischen oder rheumatischen Lähmungen nimmt man den Funken aus dem vorher mit Flanell umwundenen Gliede. Bei angeborener Schwäche der untern Gliedmafsen, die in ihrem Wachsthum zurückbleiben, werden die Funken aus der Gegend der untern Lendenwirbel gezogen. Auch die mit Zittern verbundene Schwäche der Glieder der Arbeiter, welche viel Quecksilber einathmen (Vergolder, Barometermacher) hat man mit Erfolg durch E. behandelt.

2. *Contracturen* besonders in Folge krampfhafter Krankheiten und nicht so eingewurzelte, dafs schon organische Entartungen eingetreten sind. Hier richtet man die Wirkung der E. vorzüglich auf die Antagonisten der in Zusammenziehung begriffenen Muskeln. Thiery erzählt einen merkwürdigen Fall von einer Zusammenziehung der Zunge in Folge eines Streif-

schusses am Kopfe durch eine Kanonenkugel, die durch Elektrisiren glücklich gehoben wurde [1]. In krampfhaften und gichtischen Anchylosen, wo also auch keine eigentliche Desorganisation oder Verwachsungen der Gelenke zum Grunde liegen, können die el. Ausströmungen, Funken und leichten Erschütterungen, die in verschiedenen Richtungen quer durch das Gelenk geführt werden, heilsam seyn.

3. *Lähmungen der Sinnesnerven.*

a. *Schwarzer Staar.* Hier fängt man mit der gelindesten Ausströmung aus Metallspitzen an, geht dann zur stärkeren Ausströmung aus dem Holzconus über, nimmt auch Funken aus dem untern und obern Augenbogen, um auf die Orbitalnerven zu wirken, dann aus den geschlossenen Augenliedern, und endlich aus dem geöffneten Auge selbst. Zuletzt kann man zu schwachen Erschütterungsschlägen übergehen, welche man quer durch den Vorderkopf vom Nacken aus nach der Supraorbitalgegend, und selbst durch das Auge vom Hinterkopfe nach vorne führt, so daſs der positive Strom die Richtung des optischen Nerven nach dem Auge hin hat. Fischer heilte durch das bloſse el. Ausströmen durch eine hölzerne Spitze den schwarzen Staar bei einer 43jährigen Frau innerhalb 4 Wochen [1].

b. *Taubheit.* Man läſst die E. durch den oben beschriebenen Zuleiter in den Gehörgang erst als unmerklichen Strom, dann als Hauch, endlich als Funken einwirken. Suntelin will in hartnäckiger Taubheit guten Erfolg wahrgenommen haben, wenn er einen abgerundeten Draht in den Mund so einbrachte, daſs sein abgerundetes Ende der Gegend, wo sich die Eustachische Röhre öffnet, gegenüber stand, diesen Draht mit dem äuſsern Belege einer kleinen, schwach geladenen Leidner Flasche verband, und nun mit einem andern in den Gehörgang gebrachten Drahte den Erschütterungskreis am Knopfe der Flasche schloſs.

4. *Krämpfe* und *Convulsionen.* Vorzüglich hat man im St. Veits-Tanze die E. heilsam befunden, selbst in Form von gelinden Schlägen, die man durch das Rückenmark gehen lieſs. Wilkinson will einen Trismus, der schon einen ganzen Monat gedauert hatte, durch E. geheilt haben. Suntelin fand in

---

1 G. XLVII. 108.

2 Phys. Wörterb. VIII. Bd. S. 363.

Krampfkrankheiten durch die starken Grade der E. die Krampfanfälle vielmehr entstehen.

5. *Chronischer Rheumatismus.* Vortrefflich durch einen allgemeinen Hautreiz, wenn man den mit einer Kugel versehenen, mit dem positiven Conductor verbundenen Director über den mit Flanell bedeckten, mit dem chronischen Rheumatismus behafteten, Theil hin und her führt. Nach Umständen sind auch schwache Erschütterungen durch den leidenden Theil geführt, wohlthätig. Im rheumatischen Zahnweh habe ich Funken aus dem Backen gezogen von schneller Hülfe beobachtet. Zur Betäubung der Nerven im Zahnweh von cariösen Zähnen, und zur Linderung ja gänzlichen Unterdrückung des Schmerzes, ist ein el. Schlag, durch den Zahn geleitet, oft von augenblicklicher Wirkung, zu welchem Behuf man die Zuleiter zur einen Belegung an den leidenden Zahn, den zur andern Belegung in den Nacken bringt.

6. *Chronische Augenentzündung*, besonders mit vermehrter Schleimabsonderung, nur durch den el. Hauch bisweilen mit Erfolg behandelt.

7. *Kalte Geschwülste.* Gegen skrophulöse Drüsenanschwellungen, rheumatische Auftreibungen, weiſsen Kniegeschwulst, Milchversetzung, selbst Frostgeschwülste, hat man die E. in derselben Reihenfolge, wie in Nr. 1, mit Nutzen gebraucht. In den rothen Frostbeulen folgen gewöhnlich auf den Gebrauch der Funken weiſse Flecken. In allen solchen Geschwülsten muſs aber aller entzündliche Zustand vorüber seyn.

8. *Amenorrhoe.* Die kräftige Wirkung der E. auf die Gefäſse und Muskelfasern der Gebärmutter ist durch vielfache Erfahrungen auſser Zweifel gesetzt. Schon der unmerkliche Strom bringt den Monatsfluſs in Gang, wenn Schwäche und Atonie der Gebärmutter und ihrer Gefäſse seinem Ausbleiben zum Grunde liegt; noch wirksamer sind gelinde el. Schläge von dem Kreuzbeine in den Schoos oder nach den Schenkeln hingeführt, indem man auf das erstere den Zuleiter vom positiven an die letzteren denjenigen vom negativen Belege anbringt.

9. *Bandwurm.* Die Beschwerden und Schmerzen, welche vom Bandwurm herrühren, weichen augenblicklich, wenn man einige el. Erschütterungen quer durch den Unterleib führt. Dieser Eingeweidewurm scheint dadurch betäubt und gleichsam gelähmt zu werden, und kann in diesem Zustande durch ange-

messene, selbst gelindere, Purgirmittel, wie namentlich durch Ricinusöl, abgeführt werden.

10. *Scheintod.* Vorzüglich im Scheintode vom Ertrinken, auch von einem Blitzstrahle, hat man die E. in einzelnen Fällen von einem glücklichen Erfolge gekrönt gesehen. Hier sind gelinde el. Schläge durch die Gegend des Herzens und Zwergfells geleitet die passendste Form, denn sowohl die el. Ausströmung als die el. Funken möchten in den meisten Fällen zu schwach wirken. Doch muſs man mit den schwächsten el. Schlägen den Anfang machen, weil stärkere Schläge durch zu heftigen Reiz auch die letzte Spur von Reizempfänglichkeit vollends vertilgen könnten. Man setzt, um der el. Erschütterung die oben bemerkte Richtung zu geben, den positiven Zuleiter abwechselnd auf die eine oder andere Seite des Halses, und in den Nacken, und den negativen Zuleiter unter die linke Brustwarze, auch an die untere Seite des Brustbeins. Man muſs längere Zeit fortfahren, jedoch in dem Durchleiten aller Schläge von Zeit zu Zeit Pausen machen, auch die Anwendung anderer zweckmäſsiger Mittel, besonders des Lufteinblasens und der Wärme, damit verbinden. Ein schlimmes Zeichen ist es, wenn die el. Schläge, von denen man anfangs nichts empfand, wenn man die beiden Zuleitungsdrähte in seinen Händen hielt, allmälig fühlbar werden, weil man daran erkennt, daſs der Körper des Scheintodten die E. mehr und mehr unvollkommen leitet, was ein Beweis ist, daſs er, statt dem Leben sich mehr zu nähern, sich weiter davon entfernt[1]. *P.*

Elektricität, thierische S. Galvanismus.

Elektricitätssammler S. Colector.

Elektricitätsverdoppler S. Duplicator.

Elektricitätszeiger.

Index s. Gnomon electricitatis. Man hatte diesen Namen einigen Vorrichtungen beigelegt, deren sich die Beobachter der Gewitter-Elektricität bedienten, um das Daseyn derselben zu bemerken

1 Tib. Cavallo Versuch über die Theorie und Anwendung der medicinischen E. Aus dem Engl. übersetzt. Zweite vermehrte Auflage Leipzig 1799. Jos. Franc. Domin Ars electricitatem aegris tuto adhibendi Pestini 1796. Karl Sunteliin Anleitung zur medicinischen Anwendung der E. und des Galvanismus 8. Berlin 1822.

und ihre Stärke zu messen. Jetzt werden zu dergleich n Beobachtungen selten andere, als die gewöhnlichen atmosphärischen Elektrometer gebraucht[1]. Man könnte inzwischen den gröſsern und immer bleibenden Veranstaltungen hierzu den Namen *Elektricitätszeiger* lassen und die kleineren portativen Werkzeuge *Luftelektrometer* nennen. Man hat ihnen auch den Namen *Blitzmesser* beigelegt, der dem Unerfahrnen sehr sonderbar vorkommen muſs; auch den halb lateinischen und halb griechischen Namen *Fulgurometer*, wofür man schicklicher *Brontometer* sagen würde. Diese Namen scheinen mir aber unschicklich. Man miſst doch nicht den Blitz oder den Funken, sondern nur die Stärke der E.

Franklin[2] setzte, nachdem er die Gleichheit des Blitzes und der E. entdeckt hatte, zuerst eine isolirte eiserne Stange auf sein Haus, und befestigte an derselben zwei Glöckchen so, daſs sie ihm durch ihr Läuten die Elektrisirung der Stange andeuteten[3]. Am 12. April 1753 fand er dadurch zum ersten Male bei einem Gewitter die E. der Wolken negativ. Man kann auch die Veranstaltungen, durch welche Dalibard und Delor die Gleichheit des Blitzes mit der E. bestätigten[4], unter die Elektricitätszeiger rechnen. Diesen Beobachtern, so wie dem Abbé Mazeas, sammelte die einfache Stange noch nicht genug E., sie verbanden sie daher mit mehreren isolirten Metallstangen, und nannten die ganze Vorrichtung ein *Elektricitäts-Magazin* (magazin d'électricité). Canton bediente sich einer isolirten Stange, brachte aber am Ende derselben, wo sie auf der isolirenden Glassäule ruhte, einen zinnernen Deckel an, um den Regen vom Glase abzuhalten.

Richmann erfand sich eine eigene Veranstaltung[5] und legte ihr den Namen *Index* s. *Gnomon electricitatis* bei. Sein Schicksal und seine Verdienste sind es wohl werth, daſs man diesen Namen zu seinem Andenken in der Wissenschaft beibehalte. Er hatte am Dache seines Hauses einen Ziegel ausge-

---

1 Vergl. *Luftelektrometer*.

2 Briefe über die E. nach Wilke's Uebers. S. 146. f.

3 S. *Glockenspiel, elektrisches*.

4 S. *Blitz*.

5 De indice electricitatis, in Nov. Comm. Petrep. To. IV. ad ann. 1752 et 1753. p. 310. ingl. Winkler de avertendi fulminis artificio, Lips. 1753. 4.

hoben und auf die nebenliegenden Ziegel eine gläserne Flasche gesetzt, durche welche eine eingekittete eiserne Stange hindurch ging. Ihr oberes Ende ragte 4—5 Schuh über das Dach hervor. Am untern Ende hing eine Kette, welche, ohne Leiter zu berühren in ein Zimmer geführt war, in welchem sie noch 16 Schritt weit an der Decke bis an die Fenster fortlief, wo von ihr ein Metalldraht herab hing. Dieser war mit einer kleinen Metallstange verbunden, welche in einem mit Kupferfeile gefüllten Glase auf einem 4 F. hohen Schranke stand. An der Metallstange hing vom obern Ende herab ein leinener Faden, der, wenn sich E. zeigte, von der Stange abgestoſsen ward. Ein nebenstehender getheilter Quadrant gab den Winkel des abgestoſsenen Fadens mit der Stange an. Die Gewitterelektricität hob diesen Faden nie über 30°, die künstliche aber über 55°. Am 9. August 1752 war die E. so stark, daſs der obere Theil der Metallstange freiwillig mit Geräusch ausströmte, und die Berührung derselben Hand und Arm erschütterte. Bisweilen setzte Richmann eine isolirte leidner Flasche daneben, deren innere Seite mit dem herabhängenden Drahte verbunden ward, und fand dadurch die E. noch mehr verstärkt. Am 6. Aug. 1753 tödtete ihn bei dieser Veranstaltung der unglückliche Schlag, dessen Wirkungen bei dem Worte: *Blitz*, angeführt worden sind.

Um nun den Beobachter für ähnliche Gefahren zu sichern, gab Winkler [1] eine andere Vorrichtung an, bei der man Funken, welche die Gewitterelektricität zwischen zwei Körpern schlägt, aus der Ferne beobachten kann. Sie gehört ebenfalls zu den *Elektricitätszeigern*, giebt aber die Funken alsdann erst, wenn die E. stark genug wird, um in der Schlagweite, auf welche die Körper gestellt sind, zu wirken, und dient also nicht zu Abmessung schwächerer oder stärkerer Grade.

Priestley [2] schlägt zur Beobachtung der Luftelektricität folgende Einrichtung vor. Man errichte auf dem Gipfel eines Gebäudes eine Stange, welche oben ein dickes Stück Glas, etwa einen Schuh lang, hat, das mit einem zinnernen Trichter bedeckt wird, um den Regen davon abzuhalten. Ueber demselben lasse man eine hohe zugespitzte eiserne Ruthe her-

1 De fulminis avert. artificio. Lips. 1753. 4.

2 Gesch. der E. durch Krünitz S. 344.

vorragen, von dem Trichter aber einen Draht an dem Gebäude herabgehen, der von der Stange und den Theilen des Gebäudes etwa einen Schuh weit entfernt bleibt. Diesen führe man, ohne daſs er Leiter berührt, durch ein Fenster ins Zimmer und verbinde ihn mit einem isolirten Conductor, an welchem man die E. durch die gewöhnlichen Erscheinungen wahrnehmen, auch ihre Stärke und Beschaffenheit mit Elektrometern untersuchen kann. Zur nöthigen Sicherheit räth Preistley an, neben dem Drahte einen gewöhnlichen Blitzableiter herabgehen zu lassen.

Le Roy [1] beschreibt unter dem Namen des *Fulgurometers* folgende Veranstaltung. Er errichtet eine hohe hölzerne Stange an einem so viel möglich, von Häusern, Bäumen etc. entfernten Orte, kittet darauf eine gläserne Flasche und auf diese einen blechernen Trichter in Gestalt eines 4 F. langen Sprachrohrs, dessen unterer Rand auf allen Seiten einen Schuh weit über die Flasche hinaus geht. Auf das obere enge Ende des Trichters wird eine 4—5 F. lange zugespitzte eiserne Stange aufgekittet, und von der Spitze aus ein Draht weit durch die Luft bis ins Zimmer des Beobachters geleitet, in dessen Fenster die Oeffnung weit seyn muſs; doch müssen die Fenster zugehalten werden, um keine Feuchtigkeit ins Zimmer zu lassen. Zur nöthigen Beschützung geht von dem Trichter noch eine Ableitungskette gerade herunter, bis auf einen F. weit von der Erde; unter diese Kette wird eine Metallstange tief in die Erde eingelassen, und hat oben eine leichte blechene Platte mit einem Charniere. Wenn die E. zu stark wird, soll nämlich das Ende der Kette (an das man hierzu wohl eine Kugel, oder noch eine Platte anbringen möchte) die Platte anziehen und sich dadurch in die Erde ausladen. Im Zimmer steht ein hölzernes Kästchen, dessen eine Wand eine Glasscheibe ist, wodurch der Draht geführt wird. Sie ist inwendig mit schwarzem Taffent überzogen, damit das Innere des Kästchens dunkel bleibe. An einer Seitenwand ist ein Glasfensterchen, um hineinzusehen. Im Kätschen liegen auf zwei Glasfüſsen zwei kleine zugespitzte Metallstangen mit metallenen Scheiben so, daſs sich immer die Spitze der einen Stange gegen die Scheibe der andern kehrt. Man muſs sie näher oder weiter von einander stellen können.

---

1 Rozier. Observ. et mém. sur la physique To. III. Janv. 1774.

An die eine Stange wird der Draht des Blitzmessers, an die andere ein anderer Draht angebracht, der in den Boden des Zimmers herabgeht. Wenn nun die E. der Atmosphäre positiv ist, so wird die mit ihr verbundene Spitze gegen die mit der Erde verbundene Scheibe einen Feuerbüschel, und die andere einen leuchtenden Punct zeigen; ist sie negativ, so werden die Erscheinungen die umgekehrten seyn. Ich zweifle, daſs diese sehr zusammengesetzte Einrichtung Beifall finden werde, zumal da die Phänomene des el. Lichtes nie ein bestimmtes Maſs gewähren. Man kann aber das ganze Kästchen weglassen und die E. mit dem Elektrometer untersuchen.

Eine andere hierher gehörige ziemlich weitläuftige Veranstaltung finde ich von DONNDORF [1] beschrieben. Es wird ein Haus von Brettern leicht erbaut; mitten durch dessen Dach geht eine 20 F. hohe Stange, oben mit Spitzen versehen, unten auf Pech isolirt. Am Dache halten sie viele seidne Schnüre, damit sie nicht schwanke. Einige Fuſs über dem Dache sitzt an ihr eine groſse kupferne Haube, die den Regen auffängt, und durch eine Rinne in ein isolirtes Gefäſs führt. Inwendig ist die Stange mit der innern Seite einiger Verstärkungsflaschen, und mit einer Metallplatte verbunden, die an seidenen Schnüren aufgezogen und niedergelassen wird. Die äuſsern Seiten der Flaschen sind mit einem unter dieser Metallplatte stehenden Stative verbunden. So laden sich die Flaschen durch die Gewitterwolke, und entladen sich, wenn man die Metallplatte nahe genug ans Stativ herabläſst. Die Beobachter können an einem entfernten sichern Orte stehen, an welchen die seidnen Schnüre zum Aufziehen der Metallplatte hingeführt werden. Aus der Schlagweite zwischen dieser Platte und dem Stative kann man auf die Stärke der E. schlieſsen.

Der Abt HEMMER [2] hatte in dem churfürstlichen physikalischen Cabinette zu Manheim einen Elektricitätszeiger angelegt, dessen Wirkungen nach seiner Versicherung vortrefflich waren und dem er den sonderbaren Namen eines *Blitzfängers* oder *Wolkenelektricitätsmessers* beilegte. A ist eine 30 Schuh

Fig. 38.

1 Lehre von der E. II. Bd. S. 491; Erfurt 1784. 8.

2 Ephemerides Societ. meteorol. Palat. To. I. p. 85—87 ingl. Anleitung, Wetterleiter an allen Gattungen von Gebäuden auf die sicherste Art anzulegen. Offenbach am Mayn 1786. 8. S. 26.

lange, in eine kupferne Spitze auslaufende eiserne Stange, die auf einer starken mit einem metallenen Hute zur Abhaltung des Regens gedeckten Glassäule stand. BCDE ist eine mit dieser Stange verbundene 0,5 Zoll dicke metallene Ruthe, die auswendig am Schloſse herunter, und durch einen Fensterrahmen bis ins Cabinet ging, wo sie an die eiserne Querstange V M befestigt war. Diese Querstange war an beiden Enden mit Kugeln versehen. An dem einen Ende hingen zwei Fäden mit Hollundermarkkügelchen R, in der Mitte ein el. Glockenspiel F. Am andern Ende der Stange, V M gegenüber, ein metallener Leiter S mit der Erde verbunden. Die ganze übrige Geräthschaft war isolirt; nur die erforderlichen Theile des Glokkenspiels konnten, wenn man es haben wollte, mit der Erde verbunden werden.

Diese Geräthschaft zeigte folgende Erscheinungen: 1. Zog eine Wetterwolke, sie mochte blitzen oder nicht, so vorüber, daſs ihr Wirkungskreis die Spitze A berührte, welches oft in groſser Entfernung geschah, so gingen die Fäden R aus einander, und war die E. der Wolke etwas stark, so zeigten sich Funken zwischen den Kugeln V, S, und das Glockenspiel läutete. 2. Bisweilen, wiewohl selten, zog ein Gewitter, auch mit Blitz und Donner, über die Geräthschaft hinweg, ohne daſs diese ein Merkmal der E. zeigte. In diesem Falle muſste die Wolke so hoch gehen, daſs die Spitze A ihren Wirkungskreis nicht erreichte. 3. Die E. der Geräthschaft war bald positiv, bald negativ. 4. Diese Verschiedenheit und Abwechselung der E. hatte nicht nur bei verschiedenen Gewittern, sondern oft auch bei einem und demselben Gewitter, ja sogar auch dann statt, wenn man von diesem nicht mehr als eine einzige zusammenhängende Wolke entdeckte. Hemmer fand einst die Art der E. in einer Viertelstunde achtmal verändert. 5. So oft die E. wechselte, fielen die Kügelchen R zusammen, gingen aber oft augenblicklich, oft etwas langsamer, zu ihrer vorigen Stellung zurück. So lange sie beisammen blieben, zeigte die Geräthschaft nicht die mindeste E. Oft war der Uebergang von einer E. zur andern so schnell, daſs die Kügelchen kaum ganz zusammen fielen, sondern schon vor der Berührung einander wieder zu fliehen schienen. Wenn sie aber zusammenfielen, so folgte auch nicht immer eine andere E., sondern oft kam dieselbe wieder zurück. 6. Bisweilen hielt die E. dersel-

ben Art nur einige Minuten, bisweilen auf eine halbe Stunde und drüber an. 7. So oft es bei einem nahen Gewitter blitzte, veränderte sich in dem Augenblicke der Abstand der Kügelchen. Bisweilen zeigte sich auch in eben dem Augenblicke ein Funken zwischen den Kugeln V, S, obschon kurz vorher nur eine schwache oder gar keine E. in der Geräthschaft gewesen war. 8. Fiel ein Gewitterregen auf den Apparat, so empfing derselbe augenblicklich eine starke E., wenn er vorher keine hatte, oder seine vorige ward merklich verstärkt. Während desselben Regens wechselte die E. der Geräthschaft ebenfalls oft ab. 9. Wenn die Funken zwischen den Kugeln V, S, mit großer Gewalt und Geschwindigkeit schlugen, so daß sie dazwischen gehaltene Körper beschädigten, und man dann diese Kugeln bis zur Berührung zusammenbrachte, so war in dem Augenblicke keine Spur von E. mehr in der Geräthschaft zu finden. Schob man die Kugeln wieder von einander, so fingen die vorigen Funken sogleich wieder an.

Hemmer zieht aus diesen Erscheinungen einige Folgerungen, die wir hier noch mittheilen wollen [1]. Die Spitze A, sagt er, könne die E. nicht unmittelbar aus den Wolken, sondern nur aus ihren Wirkungskreisen ziehen. Sie erreiche ja die Wolke selbst nicht, die oft in einer übermäßigen Entfernung über ihr vorbeiziehe. Es gäbe aber in dem Wirkungskreise einer Wolke immer abwechselnde positive und negative, gleichsam concentrisch die Wolke umringende, Luftschichten, und so zeige der Apparat positive oder negative E.; je nachdem die Spitze in eine Schicht von dieser oder jener Art eingesenkt sey. Es sey daher auch nicht nöthig, negative Wolken anzunehmen, indem sich die negative E. der Geräthschaft hinlänglich aus den negativen Wirkungskreisen erklären lasse. Ohne diese abwechselnden Schichten der Wirkungskreise wäre es auch nicht möglich, von den vielfältigen Abwechslungen der E. in der Geräthschaft einen hinlänglichen Grund anzugeben, oder das Zusammenfallen der Kügelchen zu erklären, welches sich zeigt, wenn die Spitze an die Grenze zwischen zwei Schichten kommt, deren eine positiv, die andere negativ ist. Die oft so lange anhaltende E. der Geräthschaft komme aus den entferntern Schichten des Wirkungskreises der Wolke; also

1 Vergl. *Luftelektricität.*

werde der Letzteren selbst dadurch nichts von ihrer E. entzogen. Der Blitz aber verursache eine Entladung der Wolke selbst welche auf alle Schichten des Wirkungskreises zugleich, mithin auch auf die Geräthschaft wirke. Die Analogie eines Nichtleiters, wie z. B. einer Glasstange, noch mehr einer Siegellackstange, welche in dem Wirkungskreise eines elektrisirten Körpers abwechselnde Zonen von entgegengesetzter E. bis auf eine gewisse Strecke annimmt, scheint für diese Erklärung zu sprechen, doch giebt es unstreitig auch noch andere Umstände, welche eine negative E. in den Wolken selbst, und eine Verwandlung derselben in positive veranlassen können. Bequemer als durch diese kostspieligen und selbst nicht immer gefahrlosen Vorrichtungen erreicht man indessen seinen Zweck, die E. der Luft und der Wolken auszumitteln durch den el. *Drachen* und die portativen *Luftelektrometer*, von welchen in besondern Artikeln gehandelt wird. *P.*

Elektrisirmaschine.

Elektrische Maschine; *Machina electrica*; Machine électrique; *Electric Machine.*

Ein Apparat um die ursprüngliche E. eines für sich el. Körpers durch Reiben stark und anhaltend zu erregen, und andern Körpern mitzutheilen.

Die grofse Masse von Thatsachen, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, wird sich am leichtesten zur Uebersicht ordnen lassen, wenn wir, nach vorangeschickter kurzer historischer Notiz von den unvollkommenern früheren Einrichtungen, unter den zwei Hauptrubriken der *Cylinder*- und *Scheiben-Maschinen* ausführlicher von den Bemühungen der neueren Physiker zur möglichst vollkommeuen Einrichtung dieses eben so sehr zur Belehrung als Ergötzung dienenden Werkzeugs handeln, und in der Beschreibung einiger Mustermaschinen von jeder der beiden Hauptlcassen die Grundsätze entwickeln, auf welchen die Vorzüge ihrer Einrichtung beruhen. In einer besondern Rubrik wird dann noch von andern Arten von Elektrisirmaschinen Rechenschaft gegeben, und am Ende noch von dem Gebrauche und den Hauptversuchen, welche man mit diesem Apparate anstellen kann, gehandelt werden, wobei durch Angabe dessen, was verschiedene Elektrisirmaschinen wirklich

geleistet haben, die Vorzüge der einen Einrichtung vor der andern sich noch weiter ergeben werden.

Man kann den Ursprung der Elektrisirmaschinen, wenn man weit zurückgehen will, von Otto von Guericke herleiten, der eine Schwefelkugel auf einem hölzernen Gestelle mit einer Kurbel umdrehte, und mit der andern Hand rieb[1]. Hawksbee [2] verfuhr eben so mit einer Glaskugel, nur brachte er statt der Kurbel ein Rad an, das er durch eine Schnur ohne Ende mit einem an der Axe der Kugel befindlichen Würtel verband, und mit einer Kurbel umdrehte. Dem ungeachtet bedienten sich Gray und du Fay noch blofs der Glasröhren, welche entweder mit der blofsen Hand, oder durch ein an dieselbe gehaltenes Reibzeug el. wurden, wodurch wegen Ermüdung der Hand, und der Unmöglichkeit einen ersten Leiter anzubringen, nie starke Grade von E. erhalten wurden. Das Verdienst, die Elektrisirmaschinen in die Experimentalgeräthschaften eingeführt zu haben, gehört den *deutschen Gelehrten*, und unter diesen vornehmlich Hausen [3]. Dieser wurde auf das Umdrehen der Glaskugel mit Hülfe eines Rades nicht durch Hawksbee's Beispiel, sondern, nach einer Note in der ersten Ausgabe dieses Wörterbuches, durch den Gedanken eines seiner Zuhörer geleitet. Dieser war Litzendorf, Führer des Grafen Julius Gebhard von Hoym, mit dem er bei Hausen die damals noch sehr neuen el. Versuche sah. Die beständige Unterbrechung des Reibens der Röhren mit der Hand brachte ihn auf den erwähnten Gedanken, den sein Lehrer mit Vergnügen annahm und ausführte. Durch Bose's und Winkler's merkwürdige Versuche wurden diase Maschinen allgemeiner bekannt und mit Beifall aufgenommen. Der Pater Gordon in Erfurt liefs zwar das Rad weg, und drehte einen Glascylinder am Würtel durch eine Schnur, die über einen Bogen gespannt war, nach welcher Methode auch Winkler [4] eine Maschine verfertigen liefs, bei welcher der Würtel an der Axe des Cylinders, wie bei den Drechselbänken vermittelst einer Schnur an einer

1 S. Exper. nova de vacuo spatio. Amsterd. 1672. fol. pag. 240.

2 Physico-mechanical experiments. London 1709. 4.

3 Hausen novi profectus in historia electricitatis. Lips. 1743. 4.

4 Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der E. Leipzig 1744. 8. S. 12.

Wippe durch Treten mit dem Fuſse bewegt wurde. Ein gewöhnliches Bierglas war der geriebene Körper. WINKLER kam aber bald zu der Hausen'schen Einrichtung zurück, die er[1] so beschreibt, wie er sie selbst zu gröſseren Versuchen gebraucht hat, daſs nämlich mit einem einzigen Rade vier Kugeln zugleich gedreht, und durch das Anhalten der Hände zweier Personen gerieben wurden. Fig. 39.

Diese Winkler'schen Maschinen sind darum vorzüglich merkwürdig, weil bei denselben zum erstenmal Kissen als *Reibzeug* angebracht worden sind. Man hat also die nützliche Erfindung der Kissen dem Leipziger Drechsler GIESSING zu danken, der nach WINKLER's eigener Versicherung[2] seine erste Maschine angegeben hat. Das Kissen machte eine Person, welche sonst die Hand anlegen muſste, entbehrlich, allein noch war es unvollkommen. Es war unter dem Glas-Cylinder angebracht, und lieſs sich zwar durch eine Stellschraube höher oder niedriger stellen, gab aber doch den Ungleichheiten der Rundung des Cylinders zu wenig nach, und erwärmte das Glas zu sehr, daher auch WINKLER selbst wieder davon abging. Zuletzt kam er jedoch aus Mangel an Personen, deren Hände zur Erregung der E. geschickt waren, wieder auf den Gebrauch der Kissen zurück, und versah dieselben mit Federn, welche sie gelinde an die Kugeln oder Cylinder, die WINKLER ohne Unterschied gebrauchte, andrückten.

SIGAUD DE LA FOND[3] versichert, daſs er im Jahr 1754 ebenfalls auf den Gedanken gekommen sey, die Kissen seiner Maschine mit Federn zu versehen. Der Abt NOLLET[4] gab seiner Maschine die nämliche Einrichtung, welche bereits die deutschen Gelehrten erfunden hatten, indem er seine Glaskugel durch ein groſses Schwungrad, das durch ein Seil ohne Ende mit dem Würtel an der Glaskugel verbunden war, in eine sehr schnelle Bewegung versetzte. Er erklärte sich aber wider den Gebrauch der Kissen, und lieſs stets eine Person die Hand an die Kugel legen. Seine eigene Hand war dazu sehr geschickt,

1 Eigenschaften der el. Materie Leipz. 1745. 8.

2 a. a. O. S. 13.

3 Précis historique et experimental des phénomènes électriques. Paris. 1781. 8.

4 Essai sur l'électricité des corps. Paris 1746. p. 48. ff.

und brachte stets eine starke E. hervor. Den ersten Leiter hing er mit seidenen Schnüren an die Decke auf, und verband ihn mit der Kugel durch eine Kette. Dr. WILLIAM WATSON[1] legte ebenfalls die Einrichtung der deutschen Gelehrten, mit denen er in Briefwechsel stand, zum Grunde, liefs aber durch sein Rad vier über einander stehende Glaskugeln auf einmal drehen, die sich an vier Kissen rieben. PRIESTLEY[2] hat diese Maschine abgebildet. Zu ihrer Erfindung gab die Begierde *Bose's Beatification*[3] nachzumachen, Anlafs, von welcher man sich in England allzugrofse Vorstellungen machte, und daher bemüht war, sehr starke Elektricitäten hervorzubringen. WILSON gab bald nachher eine Maschine an, welche weniger Raum erfordert. Ein Glascylinder wird durch ein daneben stehendes Rad gedreht, und reibt sich an einem unten angebrachten Kissen. Der erste Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier hölzernen Säulen auf das Gestell der Maschine selbst gebunden sind. An dieser Maschine[4] findet man zum erstenmale den *Leiter* mit dem Cylinder durch einen *Zuleiter* oder *Collector*, d. i. durch einen Kamm mit metallenen Spitzen, verbunden. WINKLER hatte sich, um die E. von den geriebenen Körpern nach dem Leiter zu bringen, silberner Fäden bedient, die am Ende des Conductors hingen, und den geriebenen Körper unmittelbar berührten[5].

Um Kugeln von grofsen Durchmessern in ziemlich kleinen Gestellen sehr schnell bewegen zu können, versahen sie die englischen Künstler mit Zahn und Getriebe, welches sie in ein messingenes Gehäuse einschlossen. Ein mit der Kurbel umgedrehetes Stirnrad greift in ein Getriebe, das an der Axe der Kugel fest ist. MUSSCHENBROEK lobt diese Maschinen sehr, sie verursachen aber, wenn sie nicht sehr fein und genau ausgearbeitet sind, ein unangenehmes Gerassel. Man kann dabei die Axe der Kugel oder des Cylinders vertical stellen, oder horizontal legen. BRIGNOLI[6] kam gar auf den Gedanken, die Axe mit der Weltaxe parallel zu legen; allein die Lage der

1 Exper. and observ. on electricity Lond. 1745.
2 Geschichte der E. Taf. V. Fig. 1.
3 S. *Spitzen*.
4 Priestley's Geschichte der E. Taf. VI. Fig. 1.
5 Die Eigenschaften der el. Materie u. s. w. S. 37.
6 Hamb. Magazin Bd. III. S. 565.

Axe thut an und für sich nichts zur Sache. Eine solche mit Zahn und Getriebe versehene Maschine mit verticaler Axe von NAIRNE beschreibt PRIESTLEY[1]. Der Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier aus dem Gestelle hervorragenden Armen befestigt sind. Das Kissen wird an die Kugel durch eine federnde Stange angedrückt, an der es fest ist, und die auf dem Gehäuse des Räderwerks aufsteht. Diese Maschine ist tragbar und läſst sich auf einen Tisch aufschrauben. Eine andere, gleichfalls von englischen Künstlern ausgeführte Cylinder-Maschine zeichnete sich durch ihren Sammler aus, der aus einem Drahte von vergoldetem Kupferblech, vorne breit geschlagen, besteht, und vermöge seiner E. sich unmittelbar an den Cylinder anlegt. READ gab seinem Cylinder eine senkrechte Stellung. Die Axe hatte unten einen Würtel, und wurde durch eine hölzerne, dem Tische parallel liegende Scheibe, vermittelst einer Schnur ohne Ende gedreht. Dieses Umdrehen der horizontalen Scheibe erfordert aber eine unbequeme Bewegung der Hand[2]. Ich übergehe noch einige andere Maschinen, namentlich zwei von PRIESTLEY selbst angegebene Glaskugel-Maschinen, da sie nichts ausgezeichnetes haben, und will die sonstigen wesentlichen Verbesserungen, die ein historisches Interesse haben, bei den beiden Arten von Elektrisirmaschinen, die mit Recht jetzt allein noch in Gebrauch sind, nämlich den Cylinder-Maschinen und Scheiben-Maschinen an dem dazu schicklichen Orte bemerken.

I. Elektrisirmaschine von Glas.

A. Cylinder-Maschine.

Die drei wesentlichen Stücke einer jeden Elektrisirmaschine sind 1. der *idioelektrische Körper*, durch dessen Reibung die ursprüngliche E. erregt werden soll. 2. *das Reibzeug* mit seinem Conductor, 3. der *erste Leiter*, der durch Wechselwirkung mit dem geriebenen Körper in einen demselben gleichartigen el. Zustand versetzt werden soll 4. der mit dem ersten Leiter verbundene mehr ausgedehnte *zweite Leiter*, durch dessen Beihülfe die E. noch beträchtlich verstärkt werden kann.

1 Gesch. der E. Taf. V. Fig. 1.

2 Die Abbildung derselben findet sich gleichfalls in Priestley's Geschichte der E. Tab. VIII.

Bei der Cylinder-Maschine besteht der idioelektrische Körper aus einem Glascylinder. Diese Art von Maschinen ist vorzüglich in England im Gebrauch, und um ihre möglichst vollkommene Einrichtung haben sich besonders NAIRNE, ADAMS und NICHOLSON Verdienste erworben. Die Cylinder haben mit Recht die Kugeln verdrängt, da sich an letztere das Reibzeug nie so gut anlegt, auch eine verhältnifsmäfsig viel gröfsere Fläche bei den Cylindern als bei den Kugeln zugleich gerieben werden kann. Die Cylinder, welche zu den Maschinen gewöhnlich gebraucht werden, wechseln von der Gröfse von 4″ Durchmesser und 8″ Länge bis 12″ Durchmesser und zwei Fufs Länge, doch hat man auch in London Maschinen von 24″ Durchmesser des Cylinders verfertigt. Die besten englischen Cylinder sind von Flintglas, das im Ganzen sehr el. ist. Cylinder von weifsem, recht durchsichtigem, hellem, reinem Glase sind nach mehrfachen Erfahrungen[1] allen andern vorzuziehen. Weifses Glas, welches milchicht aussieht, leistet schlechte Dienste. Cylinder von blauem Glase sind nur dann wirksam, wenn die Grundmasse, aus welcher sie bestehen, von weifsem Glase ist, durch Zusatz von etwas Kobaltoxyd blau gefärbt. Dafs das blaue Glas an und für sich keine Vorzüge habe, erfuhr ich selbst zu meinem Schaden an einem sehr grofsen blauen Glascylinder aus einer westphälischen Glashütte, der wenig leistete. Dasselbe gilt vom grünen Glase. Hartes Glas, in welchem der Gehalt an Kieselerde überwiegend, und weniger Laugensalz ist, hat in jedem Falle Vorzüge vor weicherem Glase. Ueberhaupt müssen die Glascylinder recht glatt gearbeitet, ohne Sandkörner und Blasen seyn. An Blasen, wenn sie oberflächlich liegen, und also nur mit einer dünnen Glasdecke versehen sind, reibt sich das Glas nach und nach ab, und es entsteht eine Vertiefung in welcher sich das Amalgama anhängt, welches die Entladung des Conductors nach dem Reibzeuge begünstigt, auch wird der Taffent allmälig zerrissen. Hat man sich einen Cylinder erst zu wählen, so kann man ihn auch auf sein el. Vermögen durch Reiben mit einem mit Amalgama eingeriebenen Stücke Taffent vorher prüfen, wo er schon aus der Ferne leichte Körperchen anziehen mufs.

1 Vergl. auch: Praktische und gründliche Anleitung, auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen, von HOFFMANN. Leipz. 1795. 8.

Manche Cylinder (und auch Glaskugeln) welche keine gute Wirkung leisten, werden durch einen inneren *Ueberzug* von harziger Materie wesentlich verbessert, ohne Zweifel, weil dadurch die Feuchtigkeit abgehalten wird, womit sie sonst leicht im Innern beschlagen, welche Feuchtigkeit nach Art der Belegung einer Flasche, die durch Reiben auf der äuſseren Oberfläche erregte E. bindet. Eine gute Composition zu einem solchen Ueberzuge besteht aus 4 Theilen venetianischem Terpentin, einem Theile Wachs, und einem Theile Pech, welches Gemisch eine Zeitlang über einem gelinden Feuer unter häufigem Umrühren erwärmt wird, um alle Feuchtigkeit daraus zu verjagen. Von der erkalteten und erhärteten Masse wirft man eine genugsame Menge in kleinen Stücken in den Cylinder, hält diesen darauf ans Feuer, läſst die Mischung schmelzen, und sich gleichförmig über die innere Fläche des Glases etwa in der Dicke einer Viertellinie verbreiten. Die nöthige Vorsicht bei der Erwärmung des Glases, besonders durch beständiges Umdrehen desselben, versteht sich von selbst. Statt dieser Masse kann man sich auch mit groſsem Nutzen des Bernsteinfirnisses bedienen, den man, wenn man dem Cylinder eine rothe Farbe geben will, mit etwas Zinnober durch das sorgfältigste Zusammenreiben zu einer ganz gleichförmigen, nicht mehr griesigen, Masse vermischt, mit etwas Kienöl verdünnt in den Cylinder hineingieſst, und durch fleiſsiges Umdrehen desselben über die ganze Fläche sich verbreiten läſst, wobei das Umdrehen über einem gelinden Kohlenfeuer geschehen muſs, welches man so lange fortsetzt, bis die Masse nicht mehr läuft, sondern sich anlegt. Bei Cylindern, die schon an sich sehr wirksam sind, ist dieser innere Harzüberzug entbehrlich. Auch das bloſse längere Aussetzen an die Luft und Sonne macht bisweilen Glascylinder, die anfangs sehr unwirksam waren, stärker el. Da wo das Glas gerieben wird, muſs es verhältniſsmäſsig am dünnsten seyn, weil dann die E. vollkommener entwickelt zu werden scheint, doch muſs es bei gleichförmiger Dünnheit, nach dem Halse zu an Dicke allmälig zunehmen, und daselbst sehr stark seyn. Es hat sich öfters zugetragen, daſs groſse Cylinder und auch Kugeln während des Drehens mit groſser Gewalt, und mit augenscheinlicher Gefahr der Umstehenden in unzählige Stücke zersprungen sind. Man sucht die Ursache dieses Zufalls darin, daſs solche Cylinder oder Kugeln nach dem Blasen zu

plötzlich erkalteten. Da die im Cylinder eingeschlossene Luft möglicher Weise durch ihre Erhitzung oder die Zurückstoſsung ihrer Theilchen durch die im Innern nach dem Gesetze der Vertheilung frei werdende E. daran Antheil haben könnte, so muſs man in die Fassung auf der einen Seite ein Loch machen, damit die Luft frei ausweichen könne. Zur gehörigen Fassung sind die Cylinder an beiden Seiten mit einem Halse versehen. Nicht selten werden diese Halsstücke, oder wenigstens eins derselben an der verschlossenen Seite des Cylinders, die dem Orte, wo hineingeblasen wird, gegenübersteht, erst nach dem Erkalten des Cylinders angeschmelzt, wo es denn nicht selten geschieht, daſs sie losgehen. Diese Hälse werden in Büchsen oder Kappen eingekittet, die man entweder von Messing oder noch besser von einem recht gut ausgetrockneten, in Oel getränkten harten Holze verfertigt. Eine gute Art Kitt wird aus zwei Theilen Pech, zwei Theilen Wachs und einem Theile rothen Ocker verfertigt, die über einem gelinden Feuer unter fleiſsigem Umrühren zusammengeschmelzt werden. Bloſses Pech würde zu brüchig seyn. Einen noch stärker bindenden und gleichfalls vollkommen isolirenden Kitt verfertigt man aus 3 Theilen gelbem Pech und einem Theile Gummilack in Tafeln, das mit fein geriebenem und von allen Sandkörnchen freiem Ziegelmehl vermischt und zu einer Masse zusammengeschmelzt wird, die man, ehe sie erhärtet, in Stangen formt. Damit der gefaſste Cylinder concentrisch laufe, legt man ihn vor dem völligen Erkalten des Kittes in sein Gestell, dreht ihn langsam um, und paſst ihn so auf, daſs er sich in derjenigen Lage befindet, bei welcher in seinem Laufe die meiste Gleichheit und Rundung statt findet. Da aber nur eine Fassung auf einmal angekittet werden kann, so macht man die andere Fassung vorläufig nur mit Zwirnsfäden, die man um den Hals des Cylinders gewickelt hat, fest, dann kittet man die zweite Fassung eben so ein, wobei man vorzüglich darauf zu merken hat, daſs der Lauf des Cylinders so gleichförmig als möglich geschieht und derselbe in seiner Bewegung sich nicht wirft. Sollte der Fall seyn, der sich oft zuträgt, daſs die Zapfen weit aus dem Mittelpuncte stehen, so muſs man die Fassung auf einer Seite etwas ausstechen, und auf der andern Seite etwas Pappe oder Kartenblatt beim Einkitten einlegen, um so die Axen der Kappen in den Mittelpunct zu bringen. Beide Fassungen, so wie ein Theil der bei-

den Seiten des Cylinders bis an die Enden des Reibzeugs werden dann recht gut lackirt. Beide Kappen sind mit hinlänglich, wenigstens einen halben Zoll dicken stählernen Spindeln versehen, die in dieselben vorher hineingetrieben worden sind und an ihrem innern schraubenförmig eingeschnittenen Ende durch Schraubenmuttern noch mehr befestigt werden, mit denen der Cylinder in seinem Gestelle ruht. Ehemals liefs man die Axe durch den Cylinder durchgehen, was aber schädlich ist, da das Eisen die an der äufsern Oberfläche durch Reiben erzeugte E. bindet, und dadurch ihre Wirkung auf den ersten Leiter schwächt. Findet bei aller getroffenen Vorsicht im Erkalten doch noch eine ungleichförmige Bewegung, ein Werfen des Cylinders statt, so wird dem davon abhängenden Nachtheile nur durch eine recht zweckmäfsige Einrichtung des Reibkissens, das durch eine starke Feder angedrückt der Bewegung nachgiebt, abgeholfen.

Muncke[1] erinnert gegen diese gewöhnliche Art der Fassung, dafs das Ueberziehen der inneren Seite der Cylinder mit Harzmasse wegen der Erhitzung leicht gefährlich ist, in die Oeffnung der Fassung feuchte Luft dringt und selbst fester Kitt in sehr heifsen Sommern erweicht, so dafs die schweren Cylinder herabsinken und excentrisch werden. Diesen Uebeln begegnete derselbe durch folgende Art der Fassung. Der an einem oder beiden Enden offene Cylinder wird an einem warmen Stubenofen bei sehr trockner Luft allmälig möglichst und anhaltend erwärmt, und mit hineingebrachten heifsen Handtüchern mehrmals ausgeschwenkt, um durchaus recht trocken zu seyn. Dann wird über die Oeffnung der Zapfen ein geeignetes seidenes Läppchen ausgebreitet, und ein pafslicher Kork so in die Oeffnung hineingedrückt, dafs ihn das seidene Läppchen überall umgiebt. Was vom Korke übersteht, wird abgeschnitten, und der Zapfen mit erweichtem Siegellack oder Elektrophormasse hermetisch verschlossen, wodurch aller Feuchtigkeit der Zutritt in das Innere der mit etwas erwärmter Luft erfüllten Cylinder abgeschnitten ist. Demnächst werden ausgehöhlte Korkstücke auf die Zapfen gepafst, und mit Hausenblasen oder Schreinerleim festgeleimt, deren genaues Anschliefsen an die Wandungen des Glases da, wo die Zapfen angesetzt sind, durch hineingeleimte

1 Aus brieflicher Mittheilung.

Keile oder Stücke von Kork bewerkstelligt werden kann. Diese Korkstücke werden dann mit einer Raspel sorgfältig so geformt, daſs nach gleichfalls aufgeleimten hölzernen Kappen mit den eisernen Zapfen der Cylinder möglichst concentrisch umläuft, wobei man zu stark weggenommene Stellen des Korkes durch aufgeleimte Stücke Leinwand wieder erhöhen kann.

Das Gestell, auf welchem der Cylinder aufruht, muſs hinlänglich stark und zugleich breit genug seyn, daſs sowohl das Reibzeug mit seinem Conductor, als auch der erste Leiter Platz darauf finden, und sich noch auf jeder Seite wenigstens einen Zoll verschieben lassen. Gewöhnlich wird dieses Gestell aus zwei starken senkrechten breiten Pfeilern, die hinlänglich fest in das Bodenbrett vernietet sind, verfertigt, wozu man sehr wohl ausgetrocknetes, in Oel gekochtes, Holz nehmen muſs, die man überdieſs noch mit Bernsteinfirniſs wohl überzieht. Die stählernen Spindeln des Cylinders laufen zur Verminderung der Reibung in Lagern von Messing. Vor einem solchen Gestelle hat indeſs eines von zwei starken Glassäulen, nach Art desjenigen, welches die Abbildung meiner Scheiben-Maschine[1] darstellt, unstreitige Vorzüge wegen der vollkommenern Isolirung, da die Axe leicht zur Ableitung der E. Veranlassung geben kann. Da aber ein solches Gestell die Nothwendigkeit mit sich führt, den Cylinder durch eine bloſse Kurbel zu drehen, so kann man bei der Anwendung eines Rades das Gestell wenigstens zur einen obern Hälfte ihrer Länge aus zwei kürzeren Glassäulen machen, die in den unteren hölzernen Theil eingelassen sind, an welchen das Rad angebracht ist. Um nämlich dem Cylinder eine sehr schnelle Bewegung geben zu können, wovon ganz vorzüglich die Menge der in einem gegebenen Zeitraume erregten E. abhängt, bringt man gewöhnlich an der einen Seite des Gestells ein Rad an, welches mit einer Kurbel gedreht wird und rings herum auf seinem Umfange eingeschnitten ist. An der einen Spindel des Cylinders wird ein Würtel angepaſst, dessen Durchmesser etwa den vierten Theil von dem Durchmesser des Rades beträgt, und welcher durch eine um ihn und das Rad geschlungene Schnur ohne Ende umläuft. Eine allgemeine Unvollkommenheit dieser Einrichtung ist, daſs die Schnur bisweilen schlaff wird, und die Maschine still steht.

---

1 S. unten.

Diesem wird abgeholfen, wenn man das Rad so einrichtet, daſs es dem Würtel genähert, und davon entfernt werden kann, indem man es durch eine Schraube jedesmal in der gehörigen Entfernung befestigt, sonst kann man auch in die Peripherie des Würtels mehrere Einschnitte von verschiedenen Halbmessern machen. Bedient man sich zur Drehung des Cylinders einer bloſsen Kurbel, so muſs der Hauptstiel derselben eine massive wohl überfirniſste Glassäule seyn, die in wohl getrocknetes und polirtes Holz gefaſst ist, um jede Ableitung der E. zu vermeiden. Versuche haben mich gelehrt, daſs diese Vorsicht nicht ohne Einfluſs auf die Verstärkung der Wirkung einer Maschine ist. Wenn sich gleich diese Einrichtung durch ihre gröſsere Einfachheit vor derjenigen mit dem Rade empfiehlt, so gewährt doch die Letztere, besonders bei Versuchen mit groſsen Batterien den Vorzug der viel schnelleren Ladung, die auch auf einen höhern Grad getrieben werden kann, weil in der viel kürzeren Zeit die E. durch die umgebende Luft weniger abgeleitet wird.

Ein vorzüglich wichtiges Stück zur Vollkommenheit einer Elektrisirmaschine ist die gute Einrichtung des *reibenden Körpers*. Bei den Cylinder-Maschinen kann man die Einrichtung am besten so treffen, daſs das Reibzeug mit dem negativen Leiter unmittelbar verbunden ist. Man nimmt am besten dazu ein seidenes mit Roſshaaren festausgestopftes Kissen, über welches ein Stück dünnes Kalbleder gezogen wird, worauf man das Amalgama einreibt. Dieses Kissen wird an eine metallene Platte, welche seine Rückseite bildet, oder auch an eine der Krümmung des Cylinders gemäſs gebogene Holzplatte, die mit Stanniol überzogen ist, befestigt, in welche nach den beiden Enden zu hinlänglich starke messingene Stifte eingelassen sind, durch welche vermittelst einer starken Feder das Kissen gleichförmig angedrückt werden kann. Um das Kissen schicklich einzurichten, bemerkt Cavallo, müsse man es auf eine solche Art verfertigen, daſs diejenige Seite, an welcher sich die Oberfläche des Glases beim Herumdrehen andrängt, ein so vollkommener Leiter als möglich sey, damit sie (im Sinne der Franklin'schen Theorie) die E. so geschwind als möglich hergebe, die andere Seite aber so viel als möglich ein Nichtleiter, damit nichts von der am Glase angehäuften el. Materie wieder hinter das Kissen gehe. Um aber diesen Zweck zu erreichen, ohne daſs man

darum nöthig hat, den hintern Theil des Kissens aus einem Nichtleiter zu machen, der vielmehr aus einer gut leitenden Platte bestehen muſs, um beim negativen Elektrisiren zwischen dem negativen Conductor und dem Kissen eine gute leitende Verbindung zu unterhalten, ist der vorne am Kissen angemachte Lappen von Wachstaffent, der von dem obern Rande des Kissens über die Fläche des Cylinders bis nahe an den ersten Leiter hinweggeht, vollkommen hinreichend. Diese Verbesserung, die unstreitig eine der wesentlichsten in der Einrichtung des Reibkissens ist, verdankt man dem Dr. Nooth[1]. Wenn man ein simples Kissen ohne einen solchen Lappen anwendet, so bemerkt man eine Feuerlinie an dem vordern Rande desselben, wo das Glas dasselbe verläſst, welche Beccaria aus der vom Glase zurückkehrenden E. ableitete[2]. Eben dieses leitete den Dr. Nooth auf jene wichtige Verbesserung. Nicholson[3] hat eine Reihe von Versuchen angestellt, um den Dienst des seidenen Lappens mehr aufzuklären. Sie sollen nach ihm zeigen, daſs er das vornehmste Wirkungsmittel zur Erregung der E. sey, indem das Kissen die E. nur hergebe, und den Druck am vordern Theile verstärke. Wenn aber Reibung die wesentliche Bedingung zur Erregung der E. ist, und wenn das Reibkissen, wie sich Nicholson in der Franklin'schen Sprache ausdrückt, die E. hergiebt, so muſs man doch wohl dieses als das eigentliche Erregungsmittel der E. betrachten. Dagegen ist die Bemerkung Nicholson's vollkommen gegründet, daſs die Entweichung der E. von der Oberfläche des Cylinders nicht sowohl durch die Dazwischenkunft der Seide, als eines Nichtleiters, als vielmehr durch eine *Bindung* verhindert werde, indem die Seide eben so stark negativ wird, als der Cylinder positiv ist. Die Hauptversuche Nicholson's sind übrigens folgende. Wenn das Kissen einen Zoll von dem Cylinder entfernt, und die Erregung durch den seidenen Lappen allein bewerkstelligt ward, so sah man einen Lichtstrom zwischen dem Kissen und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab weit weniger Funken. Legte man eine Rolle trockenes Seidenzeug dazwischen, so

1 Phil. Tr. LXIII. Nr. 31.

2 Philos. Trans. LVI. S. 117.

3 Phil. Trans. Vol. LXXIX. P. II. S. 273. übers. in Gren's Journal der Physik III. 49. u. ff.

hörte der Lichtstrom auf, und man bekam noch weniger Funken. Legte man aber eine nicht isolirte Metallstange dazwischen, die sonst keinen Theil des Apparats berührte, so sah man einen dichten Strom zwischen der Stange und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab sehr viele Funken. Eine Leidner Flasche, deren Knopf man an die Stelle der Metallstange brachte, war negativ geladen. Das Seidenzeug allein mit einem nach hinten zu angebrachten Stück Zinnfolie, verschaffte viel E.; mehr erhielt man, wenn das Kissen leicht angedrückt ward, noch mehr, wenn man die Hand an das Seidenzeug statt des Kissens anbrachte. Der Rand der Hand that eben so gute Dienste als die Fläche. Ein dickes oder zwei und mehrmal über einander gelegtes Seidenzeug elektrisirte schwächer, als ein einfacher sehr dünner Lappen. Nahm man das Seidenzeug vom Cylinder ab, so entstanden Funken zwischen beiden. Das erstere ward schwach negativ, der letztere positiv.

Auf folgende Weise will Nicholson die stärkste E. mit seinem Cylinder erhalten haben. Er reinigt denselben, und wischt den seidenen Lappen ab, läfst hierauf den ersteren so lange an einem mit Talg bestrichenen Reibzeuge umlaufen, bis er gleichförmig undurchsichtig geworden ist. Dann dreht er ihn so lange um, bis der seidene Lappen so viel Talg abgewischt hat, dafs er halb durchsichtig wird. Er bringt nunmehr etwas Amalgama auf ein Stück Leder, vertheilt es gleichförmig und bringt es an den Cylinder. Hierbei nimmt die Friction unmittelbar zu, und man mufs das Leder nicht eher wegnehmen, als bis sie aufhört, gröfser zu werden. Nimmt man es aber alsdann weg, so wird die Wirkung der Maschine sehr stark seyn. Das Reibzeug seiner Maschine besteht aus einem seidenen Lappen von dem Zeuge, welches die Kaufleute Persian nennen. Dieser wird an ein Leder geleimt. Das Kissen wird gegen den Lappen durch eine dünne Spiralfeder, die in der Mitte seines Rückens angebracht ist, angeprefst (wogegen sich die Feder selbst stemmt, ist nicht näher angegeben) so dafs es ihn in seiner ganzen Länge berührt. Man sollte nach dieser von Nicholson gegebenen, nicht sehr deutlichen, Beschreibung annehmen, dafs nicht eigentlich der seidene Lappen, sondern vermittelst des Leders der gläserne Cylinder selbst mit dem Amalgama gleichförmig eingerieben werde, was aber durchaus nicht zu billigen ist, da vielmehr sorgfältig vermieden werden

mufs, dafs sich keine Theile des Amalgam's an den Glas-Cylinder anhängen, weil sie den Rückgang der E. vom positiven Leiter nach dem Reibkissen erleichtern. Ob das Reibkissen blofs mit Taffent überzogen, oder über den Taffent vom untern Rande des Kissens noch ein Leder übergeschlagen ist, würde an sich gleichgültig seyn, da es ja doch eigentlich die Amalgamafläche ist, an welcher sich der Cylinder reiben soll — indefs scheint mir letztere Einrichtung den Vorzug zu verdienen, da sich das weiche geschmeidige Leder viel besser anlegt und weniger leicht abgenutzt wird. Der an das Reibkissen vom angenähte Lappen braucht eben nicht von Wachstaffent zu seyn, jedoch mufs er folgende Eigenschaften haben: 1. er mufs durchaus nicht leiten, also auch die Feuchtigkeit nicht anziehen; 2. er mufs keine Unebenheiten haben, besonders an der Seite nicht, wo er das Glas berührt; 3. er mufs nicht starr seyn, damit er das Glas gleichförmig berühre; 4. er mufs nicht zu dick seyn, damit die Falte, womit er an das Reibzeug befestigt ist, sich nicht zu sehr über das Leder erhebe; 5. er mufs nicht zu dünn seyn, um die el. Flüssigkeit nicht durchzulassen. Mit diesen Eigenschaften wird jeder Taffent, er sey geölt, gefirnifst oder gewichst, oder habe auch nur seine ursprüngliche Beschaffenheit, gleich gute Dienste leisten.

Das Kissen selbst mufs wenigstens $\frac{1}{8}$, höchstens $\frac{1}{4}$ des Cylinders umfassen. Bei geringerer Breite wird jeder einzelne Glasstreifen nicht hinlänglich lange gerieben, um das Maximum von E. zu entwickeln, bei gröfserer Breite würde sein hinterer Rand dem ersten Leiter zu nahe kommen, und von da aus die Entladung desselben zu sehr begünstigen. Was seine Länge betrifft, so ist es bei guter Isolirung der Axe hinreichend, wenn die Enden desselben nach Verschiedenheit der Länge des Cylinders einen, höchstens zwei Zoll vom Rande, wo sich der Cylinder nach den Hälsen zu verschmälert, abstehen. Bei nicht so guter Isolirung der Axe wird beim negativen Elektrisiren die Wirkung bei einem solchen Abstande immer geschwächt. Sehr viel kommt auf die gehörige Anpressung des Reibkissens mit hinlänglicher Nachgiebigkeit desselben an. Bei meiner Maschine befindet sich die andrückende Feder im negativen Conductor selbst eingeschlossen, und an das hinlänglich starke Blech desselben an seiner Hinterfläche der Länge nach befestigt. Der Conductor und mit ihm die Feder haben eine mit dem Reib-

kissen gleichlaufende horizontale Ausdehnung. Dieser Conductor ist auf eine starke Glassäule gekittet, welche ihrerseits in einen passenden Fuſs eingekittet ist, der in dem Bodenbrette der Maschine in einer eigenen Nute verschiebbar ist, und durch eine Stellschraube in jeder Lage fixirt werden kann. In die vordere, nach dem Reibkissen gerichtete, Fläche des Conductors sind zwei hinten und vorn offene Hülsen gelöthet, in welche jene oben beschriebene Zapfen oder Stifte der hintern Wand des Reibkissens passen und auf die von der Blechwand abstehenden Seitenflügel der zu diesem Ende gehörig gebogenen, starken Stahlfeder aufstehen. Durch das verschiedene Anschieben des negativen Conductors an den Cylinder kann man den Druck des Reibkissens beliebig reguliren, und die starke Feder wird dasselbe immer gehörig andrücken, wenn auch der Cylinder in seiner Umdrehung etwas ungleich wegen nicht vollkommen centraler Fassung oder nicht vollkommener Rundung seines Umfanges gehen sollte[1].

Der dritte Haupttheil der Maschine ist endlich der erste Leiter, ein isolirter, vollkommen leitender Körper, der an seiner, dem Cylinder zugekehrten, Seite nach der Gröſse des Cylinders mit einer oder einigen Spitzen, die in gleicher Richtung mit dem untern Rande des Lappens etwa $\frac{1}{4}$ Zoll unterhalb stehen, versehen ist, und dem man auch wohl den Namen des Collectors gegeben hat. Sonst gebrauchte man statt eines solchen Zuleiters eine Quaste von Goldfäden, aber wenige Spitzen thun weit bessere Wirkung. Nicholson nach dem Vorgange van Marum's lieſs sogar die Spitzen ganz weg, und begnügte sich, den dünnen cylindrischen Zuleiter unterhalb dem freien Rande des Wachstaffents und von gleicher Länge mit diesem so nahe wie möglich an den Glascylinder zu bringen. Ich habe indeſs durch vergleichende Versuche gefunden, daſs bei sonst gleicher Einrichtung, namentlich bei gleicher Ausdehnung des Conductors, die Anhäufung der E. an demselben einen höheren Grad erreicht, wenn der sogenannte Einsauger mit einigen Spitzen bewaffnet ist. Es beruht nämlich alles darauf, daſs in diesem Einsauger die Dichtigkeit der E., welche derjenigen des

1 Die Einrichtung, welche J. C. Hoffmann in der oben angeführten Schrift S. 32 dem Reibzeuge zu geben vorschlägt, habe ich an einer von ihm verfertigten Maschine nicht bewährt gefunden.

Cylinders entgegengesetzt ist, den höchst möglichen Grad annehmen könne, um mit der gröfsten Leichtigkeit in hinlänglicher Menge auszuströmen, und die durch das Reiben erzeugte E. fortdauernd auszugleichen, wodurch dann die (derjenigen des Cylinders gleichnamige) im isolirten Conductor zurückbleibende E. auf den höchsten Grad gebracht wird, und in dieser Hinsicht haben feine hervorragende Spitzen vor allem den Vorzug, wie Biot nach Coulomb's Versuchen mit aller Schärfe gezeigt hat. Ehemals hing man den ersten Leiter an seidenen Schnüren auf, er steht aber auf Glasfüfsen weit fester und sicherer. Man verfertigt ihn am besten von Messingblech, und nur bei sehr grofser Ausdehnung, um die Kosten zu vermindern, aus Holz oder Pappe mit Zinnfolie überzogen. Einen solchen weit ausgedehnten Leiter kann man nun als *zweiten Leiter* von dem *ersten* gleichsam noch unterscheiden und auf seine zweckmäfsige Einrichtung kommt zur Verstärkung der Wirkungen der Elektrisirmaschine sehr viel an, worauf ich noch bei der näheren Betrachtung dieser Wirkungen zurückkommen werde. Zur weiteren Erläuterung und Veranschaulichung des bisherigen mag eine kurze Beschreibung und Abbildung einer sehr einfachen Cylindermaschine nach Cavallo dienen, an welcher fast alle die von mir angegebenen Verbesserungen angebracht werden.

Fig. 40. Ihr Gestell besteht aus dem Brette ABC, welches mit zwei eisernen Klammern an den Tisch geschraubt werden kann. Auf diesem Brette stehen zwei starke hölzerne Säulen AH und LK, die den Cylinder und das Rad tragen. An der messingnen Haube, worin der eine Hals des Cylinders FF gefafst ist, geht eine stählerne Spindel durch die Säule KL hindurch, und trägt jenseits dieser Säule einen Würtel. Auf der Peripherie dieses Würtels sind 3—4 Einschnitte, um der veränderlichen Länge der Schnur nachgeben zu können, welche um den Würtel und den Einschnitt an der Peripherie des Rades D gezogen wird. In der andern Haube des Cylinders ist ein kleines Loch, in welches das conische Ende einer starken Schraube geht, die durch die Säule H geschraubt ist. Das Rad D wird vermittelst des Handgriffs E um eine starke Axe gedreht, welche in der Säule LK befestigt ist.

Das *Reibzeug* dieser Maschine besteht aus einem dünnen mit Haaren ausgestopften, seidenen Kissen, welches an jeden Ende um zwei Zoll kürzer als der Cylinder ist, und auf einmal etw

den vierten Theil von dem Umfange des Cylinders berührt. Es ist mit seidenen Schnüren an ein Holz gebunden, das eine zu der Oberfläche des Cylinders passende Gestalt hat. Am obern Ende des Kissens befindet sich ein Stück Wachstaffent, das fast den ganzen oberen Theil des Cylinders bedeckt; an das untere Ende des Holzes, woran das Kissen gebunden ist, wird ein Stück Leder befestigt, welches sich über das Kissen biegt, damit es zwischen dieses und den Cylinder kommt, und auf welches das el. Amalgama mit etwas Schweineschmalz eingerieben wird. Das Kissen wird von zwei Federn gehalten, die hinten an dasselbe angeschraubt sind, und aus der hölzernen Haube einer starken gläsernen Säule hervorkommen, die auf dem untern Brette steht. Sie muſs wohl lackirt seyn und hat einen hölzernen Fuſs, der sich in einem Falze im Fuſsbreite verschieben und durch eine Schraube feststellen läſst, damit man nach Belieben das Kissen stärker oder schwächer an den Cylinder andrücken könne. Der erste Leiter ist von Messingblech, und ruht auf zwei mit Siegellack überzogenen Glassäulen, die mit messingnen Füſsen in das Fuſsbrett befestigt sind. Er saugt die E. (nach der Franklin'schen Ansicht gesprochen) durch die Spitzen des Kammes oder Collectors L ein, welche etwa einen halben Zoll von der Oberfläche des Cylinders abgerückt werden.

Vom Kissen hängt gewöhnlich eine Kette herab, welche die Erde berührt, und in diesem Falle erhält der erste Leiter + E. Verlangt man — E so wird diese Kette abgenommen und an den ersten Leiter gehangen, wonach das isolirte Kissen beim Umdrehen — E. erhält. Verbindet man mit demselben einen andern isolirten Leiter, der dem ersten völlig ähnlich ist, so wird auch dieser — E erhalten.

Was an dieser Maschine zu tadeln ist, sind die Messingfüſse, in welche die Glassäulen, die den ersten Conductor tragen, eingekittet sind, da sie zur Ableitung der E. Veranlassung geben, in welcher Hinsicht die von VAN MARUM angegebene Einrichtung solcher Füſse weit vorzuziehen ist [1]. Auch kann es sich bei der Unterstützung des Cylinders auf der einen Seite wohl ereignen, daſs die conische Spitze aus der Vertiefung in der Haube ausweicht, und der Cylinder dann durch sein eigenes

1 S. unten.

Gewicht einen Bruch des Halses in der entgegengesetzten Haube herbeiführt. Endlich scheint die von mir oben näher beschriebene unmittelbare Verbindung des Reibkissens mit dem negativen Leiter wegen ihrer Einfachheit den Vorzug zu verdienen.

Adams[1] beschreibt zwei Cylinder-Maschinen, die beide mit einander übereinkommen, nur daſs die eine mit einer bloſsen Kurbel, die andere vermittelst eines Rades bewegt wird. Sie sind sonst beide völlig wie Cavallo's Maschine eingerichtet. Nur am Kissen fehlt das Leder, statt dessen geht ein Stück Wachstaffent oder Seidenzeug vom untern Rande des Kissens aus, und über den Cylinder so weit hinweg, daſs es fest an die einsaugenden Spitzen des ersten Leiters anstöſst. Der Leiter zum — E ist an einem hölzernen Arme auf der Glassäule, die das Kissen trägt, fest, eine Vereinfachung, die eigentlich Nairne zuerst eingeführt hat, der die meisten Glascylinder-Maschinen in England, zum Theil von sehr groſser Wirksamkeit, verfertigte. Die einzige, wesentlich neue, Einrichtung an den Cylinder-Maschinen, die zu den bisher beschriebenen noch hinzugekommen, ist die von Nicholson angegebene, um vermittelst einer Cylinder-Maschine, wie dieses durch van Marum später an den Scheiben-Maschinen so sinnreich ausgeführt worden ist, an einem und demselben Leiter beide Elektricitäten darzustellen. Zu diesem Behuf schlug er vor, an eben demselben Leiter zwei Kissen eines auf jeder Seite zu befestigen, das Reibzeug aber mit dem seidenen Lappen beweglich zu machen. Will man die entgegengesetzte E. haben, so löst man das Leder von dem Reibzeuge ab, und befestigt es an dem andern Kissen auf der entgegengesetzten Seite des Cylinders, der selbst nun nach der entgegengesetzten Seite umgedreht wird[2]. Indeſs sind dergleichen Maschinen nie in Gang gekommen, und Nicholson's Beschreibung derselben ist selbst zu kurz, um sich eine recht deutliche Vorstellung davon zu machen.

B. Glasscheiben-Maschinen.

Um das Jahr 1766 wurden die Maschinen mit *runden Glasscheiben* bekannt, welche der englische Künstler Ramsden mit vielem Beifalle verfertigte. Er gab sich für den Erfinder derselben aus, wofür ihn auch Priestley in der ersten Ausgabe

1 Versuch über die E. S. 14 ff.

2 Vergl. Gren's Journal der Ph. III. 56.

seiner Geschichte der E. erklärt, in der zweiten aber wird Dr. Ingenhouss als Erfinder genannt. Sigaud de la Fond[1] erzählt, daſs er schon 1756 eine Scheibe von Krystallglas an einer Axe gedreht mit Vortheil als Elektrisirmaschine gebraucht habe; als sie ihm aber durch den allzustarken und ungleichen Druck des Kissens zersprungen sey, so habe er diesen Gedanken wieder aufgegeben. Nach einer Nachricht in der allgemeinen deutschen Bibliothek[2] ist der eigentliche Erfinder dieser Maschinen Planta, Stifter und ehemaliger Director des Haldenstein'schen Seminariums, der sich derselben um das Jahr 1760 bedient hat. Dr. Ingenhouss[3] sagt, daſs er seit dem Jahre 1764 angefangen habe, sich der Glasscheibe zu bedienen, weil er von der Reibung derselben an beiden Seiten sich viel versprochen. Er habe eine noch sehr unvollkommene Probe davon dem Dr. Franklin und andern Freunden in London gezeigt, worauf sie bald von Ramsden und andern Künstlern nachgemacht worden.

Nach der ersten Einrichtung bestanden diese Maschinen aus einer kreisrunden Glasscheibe, welche in verticaler Stellung mit einer Kurbel gedreht wurde, die an einer eisernen, mitten durch die Glasscheibe hindurchgehenden Axe befestigt war. Die Scheibe wird von vier ovalen Kissen gerieben, die ungefähr zwei Zoll breit sind, und von denen je zwei an jeder Seite der Scheibe an den beiden Enden des verticalen Durchmessers stehen. Das Gestell besteht aus einem Brette, das man mit einer eisernen Klammer auf einen Tisch befestigen konnte. Auf dem Brette stehen zwei Pfeiler von Holz, die mit einander parallel laufen, und oben durch ein Querholz verbunden sind. Diese tragen in ihrer Mitte die Axe der Glasscheibe, und an sie sind auch die Kissen befestigt, die durch Schrauben mehr oder weniger festgedrückt werden können. Der Leiter war ein hohler Cylinder von Messing, an dessen Ende sich zwei Arme ausbreiteten, welche bis nahe an das Glas reichten, und an ihrer innern gegen die Scheibe gekehrten Seite mit Spitzen versehen waren. Eine umständliche Beschreibung dieser damals ge-

1 *Précis* des Phén. él. P. I. Sect 1. Chap. 2.

2 Anhang zum 13—24. Bande 1ter Abtheilung S. 549.

3 Vermischte Schriften herausgegeben von Molitor. 2. Aufl. Wien 1787. gr. 8. I. Bd. S. 172. u. f.

bräuchlichen Maschinen liefern Schmidt[1] und d'Inarre[2]. Soviel auch diese Maschinen gleich im Anfange leisteten, so gaben sie doch bei dieser Einrichtung zu der Klage Veranlassung, dafs die metallene Achse sehr viel von der erregten E. annehme und ableite. Fontana hatte für das Cabinet des Grofsherzogs von Toskana eine solche Maschine mit einer doppelten Scheibe von 18 Zoll Durchmesser verfertigen lassen, wo jede Scheibe auf beiden Seiten an zwei Orten gerieben wurde. Diese gab so starke E., dafs der Leiter Funken gegen die Axe schlug, welche durch die Kurbel und den Körper der drehenden Person in den Boden gingen.

Cuthbertson in Amsterdam half dem erwähnten Fehler dadurch ab, dafs er die kupferne Achse zwischen beiden Glasscheiben mit einem gläsernen Ringe umgab, den er mit Siegellack an die Scheiben ankittete. Die beiden Arme des ersten Leiters führte er zwischen die beiden Scheiben hinein bis nahe an den Glasring, so dafs sie alle dazwischen erregte E. aufnehmen mufsten. Bei der ersten Einrichtung dieser Scheiben-Maschine war es nicht leicht möglich, die Kissen zu isoliren und negative E. zu erhalten. Le Roy in einer schon 1772 vorgelesenen Abhandlung[3] schlug daher vor, die Kissen an eine Glassäule zu befestigen, und zwei Leiter anzubringen, wovon einer mit dem Kissen verbunden, der andere gegen die Scheibe gerichtet ist, wodurch man in Stand gesetzt würde, beide Arten von E. wie bei den Cylinder-Maschinen zu erhalten. Lichtenberg in Gotha hatte sich schon im Jahr 1773 eine sehr vollkommene Scheiben-Maschine zu positiver und negativer E. nach seiner eigenen Erfindung verfertigen lassen. Der Graf von Brilhac gab eine Maschine mit zwei Glasscheiben an[4], welche vermittelst eines grofsen Rades, eben so wie sonst die Glas-Cylinder, umgedreht wurden. Dadurch würde in dem Verhältnisse, in welchem in einer gegebenen Zeit mehr Glasfläche, als bei der gewöhnlichen Einrichtung, gerieben werden konnte, die Elektricitätserregung unstreitig vermehrt werden können. Indefs geht

1 Beschreibung einrr Elektrisirmaschine und deren Gebrauch. Jena 1773. 4.

2 Von der E. Erster Theil. Frankfurt 1784. 8. S. 23 u. ff. Taf. IV.

3 Rozier observations sur la Physique. Tome IV. Janv. 1775. p. 53. ff.

4 Observ. sur la Physique May 1780.

dadurch der Vortheil einer mehr compendiösen Einrichtung verloren, und bei grofsen Glasscheiben nimmt die Gefahr des Zerbrechens sehr zu. Daher ist diese Einrichtung nicht in Gang gekommen, so wenig als die vom Abt Bertholon vorgeschlagene einer umgekehrten Scheibenmaschine, nach welcher sich ein runder Reiber zwischen zwei Glastafeln bewegte, so wie die Vorrichtung eines gewissen Franz Magiollo in Venedig[1], der an dem Rande eines buchsbaumenen Rades von 3 Fufs im Durchmesser 8 Glas-Platten von ½ Fufs Breite setzte, welche einen Glasring um dasselbe bildeten. Ingenhouss[2] stellte seine ganze Maschine auf 4 Glasfüfse, wodurch also die Kissen zur Erhaltung der negativen E. isolirt werden können. Die Kissen selbst waren mit Leder und Flanell überzogen und wurden durch Federn angedrückt. Von ihnen gingen zwei Flügel von Wachstaffent nach Art des Lappens des Dr. Nooth bei den Cylinder-Maschinen aus bis ganz nahe an die Arme des ersten Leiters.

Um die E. zu verstärken, wurden selbst drei Scheiben auf eine Axe gefafst, wodurch aber die Isolirung der Reibkissen fast unmöglich, so wie die Bewegung der Maschine sehr erschwert wurde. Besonders suchte man aber durch Gröfse der Scheiben die Wirkung zu verstärken. Sigaud de la Fond führt als die gröfste in Frankreich, die ihm damals bekannt geworden war, die des Herzogs von Chaulnes an, deren Scheibe 5 Fufs im Durchmesser hatte und bei günstiger Witterung Funken von 22 Zoll Länge gab[3]. Die gröfste Maschine dieser Art wurde in der Zeit, in welcher die bisher angeführten Verbesserungen allmälig bei den Scheibenmaschinen angebracht worden waren, von Cuthbertson für das Teyler'sche Museum in Haarlem verfertigt, welche durch die mit ihr von van Marum angestellten Versuche so bekannt geworden ist. Sie besteht aus zwei Glasscheiben, jede von 65 englischen Zollen im Durchmesser, die aus Frankreich gekommen sind. Sie stehen 7½ Zoll weit aus einander, und werden an 8 Kissen, jedes 15½ Zoll lang gerieben. Die Axe und um sie an der Scheibe selbst ein Kreis von 33 Zoll Durchmesser ist mit einer harzigen Mischung bedeckt.

1 Licht. Magazin Bd. II. St. 1. S. 137.
2 Vermischte Schriften 1784. 8. S. 147.
3 Journ. de Phys. 1788. Nov. p. 62.

Die Achse liegt auf Glassäulen, auch steht das ganze Gestell der Maschine auf Glasfüſsen, um die Reibkissen dadurch isoliren und negativ elektrisiren zu können. In gerader Linie mit der Achse 68 Zoll weit von den Scheiben steht eine gläserne 57 Zoll hohe Säule, die einen kupfernen, 22 Zoll langen, Cylinder mit kupfernen Kugeln von 9 Zoll Durchmesser an seinen Enden trägt. Am Ende von der Maschine abwärts hat dieser Cylinder eine Röhre mit einer Kugel von 4″ Durchmesser, (von welcher die gröſsten Funken erhalten werden s. u.) am andern Ende zwei rechtwinklich angesetzte Arme 9 Zoll lang am Ende mit Kugeln von 6 Zoll. Auf jeder Seite der Maschine parallel mit der Achse steht noch eine 57 Zoll hohe Glassäule mit einem solchen Cylinder. Aus jedem geht ein rechtwinklich gebogener Arm 14 Zoll lang hervor. Beide Arme kommen zwischen die Scheiben, und haben an jeder Seite vier Spitzen zum Einsaugen. Diese drei Hauptstücke des Leiters sind noch durch zwei kupferne Cylinder verbunden, der ganze Leiter aber hat 23¼ Quadratfuſs Oberfläche. Zwei Personen, bei langer Dauer vier, die bei negativer Elektrisirung auf einem eigenen Gestelle isolirt sind, drehen die Scheiben an ihrer langen Kurbel um. So riesenhaft auch die Wirkungen dieser Maschine sind, so ist sie doch weit entfernt von dem Ideale einer vollkommen gebauten Scheibenmaschine. Insbesondere gilt dieses von der Einrichtung derselben für die negative E, die daher auch viel schwächer als die positive ausfällt. Da man nämlich die Reibkissen nicht für sich allein isoliren kann, sondern das ganze Gestell und mit diesem die zwei Personen, die sie drehen, mit isoliren muſs, so wird der Luft eine allzugroſse leitende Fläche dargeboten, und dadurch die Zerstreuung der negativen E. und die Zuleitung von positiver aus der Atmosphäre zu sehr begünstigt.

Cuthbertson, der diese groſse Maschine verfertigt hatte, führte eine ähnliche in einem kleinern Maſsstabe aus, deren Einrichtung hier noch eine nähere Angabe verdient, da sie zu einer Reihe interessanter Versuche der berühmten holländischen Physiker J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk gedient hat[1].

Diese Maschine besteht aus zwei Glasscheiben von 31 engl.

---

1 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. herausgegeben von John Cuthbertson Leipz. 1790. 8.

Zollen Durchmesser, welche 7 Zoll weit von einander parallel an einer Achse stecken und durch vier Paar Kissen gerieben werden, welche 8 Zoll lang, 2 Zoll breit, auch wie bei der Teyler'schen mit Leder überzogen, und an ihrem vordern Rande mit Streifen von Wachstaffent versehen sind. Die Achse der Scheiben ist von Messing und hat 1,5 Z. Durchmesser. In der Nähe der Scheiben ist sie mit hölzernen Cylindern umgeben, welche 4 Zoll dick mit einem el. Kitt überzogen sind, so wie die Scheiben selbst bis auf 3 Zoll weit von der Achse einen Ueberzug von Siegellack haben. In das Ende der Achse, wo sich die Kurbel befindet, sind Schraubengänge geschnitten, mittelst deren ein Stück massives, mit Siegellack überzogenes Glas 10 Zoll im Durchmesser und zwei Zoll dick an die Achse geschraubt wird. An dieses Glas ist auf der innern Seite ein Stück Messing mit einer Schraubenmutter, und an der äufsern eine viereckige messingene Platte mit einer Schraube befestigt. An dieser sitzt die Kurbel, die einen Kreis von 22 Zoll Durchmesser beschreibt. Die Achse wird von drei Säulen aus massivem Glase getragen; zwei davon befinden sich an dem vordern Theile, jede 4 Zoll weit von der Kurbel entfernt, die dritte trägt der Achse hinteres Ende. Ihre Höhe ist 3 Fufs 4 Zoll; jede Säule besteht aus zwei Stücken, die in der Mitte durch einen messingnen Cylinder verbunden sind. Das Fufsstück und Gebälke der Maschine, an welche auch die Kissen befestigt sind, ist von Mahagoniholz. Das Gebälke, welches die obern Kissen trägt, hat keine gröfsere Oberfläche, als eben nöthig ist, um die Vorrichtung, an welcher die Kissen sind, zu halten. Unter der zwei Zoll dicken Mahagonitafel, auf welcher die Glassäulen befestigt sind, welche die Maschine tragen, befindet sich eine andere Tafel von Mahagoniholz, von eben der Gestalt und Dicke, wie das Fufsstück; diese ist an Letzteres angeschraubt, unten ruht sie auf drei massiven Glassäulen, die 2 Z. dick und 16 Z. lang sind. Diese Säulen sind mit ihrem Fufse in eine andere Tafel von Mahagoniholz befestigt, welche eben die Form hat, wie die vorigen, nur etwas gröfser ist, mit welcher letztern Tafel die Maschine den Fufsboden berührt, und ihrer eigenen Schwere überlassen, hinlänglich fest steht, was auch den Vortheil gewährt, dafs man die Maschine zu jeder Zeit verrücken kann. Der erste Leiter besteht aus 5 hohlen messingnen Cylindern. Zwei derselben, welche Cuthbertson die *Arme*

nennt, haben die Gestalt eines Winkelhakens; an dem einen Ende derselben befinden sich die *Empfangstücke*, welche die E. aufnehmen, am andern Ende gehen unter einem rechten Winkel zwei Arme heraus, die sich in das Hauptstück des Conductors endigen. Bei allen Absätzen dieser Stücke sind Kugeln angebracht. Die Empfangstücke haben an jeder Seite fünf stählerne Spitzen, und ihre Entfernung von der Achse beträgt 8 Zoll. Der ganze erste Leiter ruht auf einer 2 Zoll dicken und 2 Fuſs hohen massiven Glassäule, welche da, wo der Conductor aufliegt, in einer Länge von 6 Zoll mit einem dicken, nach unten hin dünner werdenden, Ueberzuge von Siegellack bedeckt ist. Um die Mitte der Säule befindet sich abermals ein solcher spindelförmiger Ueberzug. Beim *positiv* Elektrisiren wird ein Messingdraht von ¼ Zoll Durchmesser mit dem Gebälke der Maschine verbunden. Dieser ist an der Decke des Zimmers befestigt, an einer Wand auf den Fuſsboden herab und zwischen den Tafeln desselben bis an das andere Ende des Zimmers fortgeführt, wo er durch ein Loch im Boden bis in eine Grube geht, die beständig mit Grundwasser angefüllt ist. Mit diesem leitenden Drahte wird auch das Fuſsstück verbunden. Auf diese Art wird dem Kissen die el. Materie zugeführt, und wenn man die E., welche die Maschine einem andern Körper mitgetheilt hat, wieder hinwegschaffen will, wird dieser letztere ebenfalls mit dem leitenden Drahte verbunden.

Zum *negativ* Elektrisiren nimmt man die Empfangstücke von den Armen ab, und stellt den Conductor so auf die Glassäule, daſs die Arme in einer Verticalebene stehen, und Kopf und Fuſs des Pfeilers, welcher die Achse trägt, berühren. Um die positive el. Materie, welche die Scheiben durch das Reiben an den Kissen erhalten, wieder abzuführen, und dadurch die Anhäufung der — E an den Kissen zu erhalten, wird bei der Teyler'schen und andern Scheiben-Maschinen der gewöhnliche positive Leiter mit dem Fuſsboden verbunden. Hier aber werden zwei besondere Stücke dazu gebraucht, die zu beiden Seiten der Mitte des Fuſsstückes zwischen die Ränder der Scheiben gestellt werden. Von diesen beiden Stücken besteht jedes aus einer massiven Glassäule, oben mit einer hölzernen Bekleidung versehen, in welche das Empfangstück, das sich vorhin am Arme des ersten Leiters befand, mit seiner Kugel gesteckt wird. Auf dieser Kugel sitzt noch eine kleinere, von der ein Draht

zum Boden herabgeht und die el. Materie abführt. Diese Vorrichtung kann auch gebraucht werden, um Batterien ohne den grofsen Conductor positiv zu laden, indem man sie mit dem erwähnten Drahte verbindet. Eben so kann zur negativen Ladung einer Batterie ein kleinerer Leiter gebraucht werden, der aus einer gebogenen messingnen Röhre von 1 Zoll Durchmesser besteht, und zwei Fufs von dem hintern Pfeiler der Maschine absteht. Diese Einrichtung verschafft also den Vortheil, Batterien sowohl positiv als negativ ohne einen Conductor von grofsem Umfange laden zu können, der sonst der feuchten Luft zu viel Fläche darbietet. Man hat auch noch den Nutzen, dafs man auf diese Art kein so grofses Zimmer zu den Versuchen bedarf.

Van Marum beschäftigte sich aber besonders mit der Verbesserung der Scheiben-Maschine, und wir verdanken ihm die vollkommene Einrichtung, welche sie nunmehr besitzet, und wodurch sie jede andere Art von Elektrisirmaschinen übertrifft. Im Jahre 1789 machte er zuerst eine bessere Einrichtung der *Reibzeuge* bekannt[1], welche vorzüglich darin bestand, dafs er an dem Ende derselben, wo die Scheibe bei ihrer Bewegung sie verläfst, den Wachstaffent von Dr. Nooth anbrachte mit einer angemessenen Einrichtung, um ihn recht glatt zu spannen, auch richtete er die Reibkissen selbst so ein, dafs sie an das Glas auf eine gleichförmige Art angedrückt wurden. Im Jahre 1791 erschien aber die Beschreibung und Abbildung der ganz neuen Einrichtung der Scheibenmaschine selbst in einem Schreiben an Ingenhouss[2], die wir hier wieder ihrem Wesentlichen nach mittheilen, da diese neu eingerichtete Maschine als eine Mustermaschine zu betrachten ist.

1 Lettre de M. van Marum à Mr. le Chev. Landriani a Milan, contenant la description des frottoirs électriques, dont l'effèt surpasse de beaucoup celui des frottoirs ordinaires. à Haarlem 1789. 4; auch im Journal de Physique Avril 1789 S. 274. ff.; übers. in Gren's Journal der Physik II. 167.

2 Description d'une Machine électrique construite d'une manière nouvelle et simple, et qui réunit plusieurs avantages sur la construction ordinaire im Journal de Physique Juin 1791, auch angehängt der Tweede Vervolg der Priefneminger u. s. w. Haarlem 1795. Uebers. im Gothaischen Magazin für das Neueste aus der Physik VII. Bd. 4tes St. S. 461 ff. ingl. in Gren's Journ. der Physik IV. 3. u. ff.

Das Hauptaugenmerk van Marum's bei der Errichtung seiner Maschine war, dasselbe mit der Scheibenmaschine zu leisten, was Nicholson durch eine neue Einrichtung an der Cylindermaschine bewirkt hatte, nämlich an einem und demselben Leiter *beide Elektricitäten*, die positive und die negative darstellen zu können, demnächst aber auch die negative E. von derselben Stärke wie die positive zu erhalten, was bei der früheren Einrichtung, wo die negative E. nur durch Isolirung der ganzen Maschine erhalten werden konnte, unmöglich gewesen war. Die beschriebene Maschine hat eine Scheibe von 32 Zoll. Die Reibzeuge an derselben sind unmittelbar isolirt, indem jedes Paar von einer eigenen Glassäule A getragen wird. Bei den Scheibenmaschinen, wie sie sonst eingerichtet waren, sind die Reibzeuge vertical gestellt, es müssen also zwei Seitenpfosten dabei seyn, die oben ein Querstück tragen, an welchem die oberen Reibzeuge befestigt werden. Um bei dieser Einrichtung eine vollkommenere Isolirung der Reiber erhalten zu können, sind Anstalten nöthig, welche van Marum früher bei einer aus zwei Scheiben bestehenden Maschine angebracht hatte, die aber eine unbequeme Ausdehnung herheiführten. Die neue bequemere horizontale Stellung und damit erreichte vollkommene Isolirung der Reibkissen wird nur dadurch möglich, daſs die Axe der Scheibe Bh auf einer einzigen Säule C ruhet und auf derselben gedreht wird. Diese letztere Säule hat aus diesem Grunde ein verlängertes Gesimse K, welches zwei kupferne Pfannen D trägt, die ganz nahe an den Enden des verlängerten Gesimses angebracht sind, worin sich die Achse drehet, und an welchen zwei entsprechende, über die Achse greifende, Ueberlagen durch zwei starke Schrauben befestigt sind, um die Achse gehörig festzuhalten. Letztere hat ein Gegengewicht O von Blei, um zu verhüten, daſs das Gewicht der Scheibe nicht zu viel Reibung in den Ueberlagen D verursache. Man sieht gleich beim ersten Blicke, daſs die Reibzeuge von allen umgebenden Gegenständen durch ihre gläsernen Träger hinlänglich entfernt sind, um beim negativen Elektrisiren E. aus ihnen anziehen zu können, die Achse etwa allein ausgenommen, die aber zum Theil aus einem Nichtleiter verfertigt ist, um die Anziehung des + und die Zerstreuung des — nach ihr zu verhindern. Der Bogen des Conductors EE, welcher die beiden Zuleiter (Einsauger des + E) FF trägt, ist

Fig. 41 u. 42.

an der Achse G fest, welche sich in der Kugel H dreht. Diesem Bogen oder Halbkreise EE gegenüber an der andern Seite der Scheibe befindet sich ein anderer Bogen JJ aus Messingdraht von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke, an dessen Enden zwei kleinere Zuleiter LL sich befinden, der auf die Achse durch eine Scheibe, von welcher seine beiden Arme ausgehen, aufgesteckt ist, und frei um dieselbe gedreht werden kann, wie der Bogen EE, um ihn entweder in die verticale oder horizontale Stellung bringen zu können, in welcher letzteren er einerseits den obern, andrerseits den unteren Rand der Reibkissen berührt, um sie beim *positiven* Elektrisiren mit (positiver) E. zu versehen. Will man sich im Gegentheile desselbigen Conductors für die *negative* E. bedienen, so hat man nichts weiter nöthig, als den Bogen EE zu drehen, bis seine Zuleiter FF die Reibzeuge berühren, und den Bogen JJ in die verticale Stellung zu bringen, um die E. zu absorbiren, welche durch das Reiben auf der Oberfläche der Scheibe haftet, zu welchem Behuf die kleinen Zuleiter LL ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll von der Scheibe abstehen. Die sonstige Einrichtung des ersten Leiters an dieser Maschine gewährt durch seine Stabilität, indem er mit derselben ein Stück ausmacht, einen bedeutenden Vortheil vor den sonst gebräuchlichen ersten Leitern der gewöhnlichen Elektrisirmaschine, denen man stets wieder ihre rechte Stellung geben muſs, und die selbst während der Versuche wegen der Erschütterung des Bodens ihre Lage in Beziehung auf die Scheibe verändern können. Der Conductor besteht bloſs aus einer Kugel H von 9 Zoll Durchmesser durch drei Schrauben auf eine kleine Haube M befestigt, welche an eine Zwinge gelöthet ist, die auf den Träger N gekittet wird, und dieser Träger ist auf dem Bodengestelle der Maschine festgemacht. Die Zuleiter FF sind ohne Spitzen, es sind Cylinder von 6″ Länge und $2\frac{1}{4}$ Breite aus dünnem Kupfer, die sich in Halbkugeln endigen. Van Marum beabsichtigte vorzüglich dadurch das Ausströmen der E. gegen das Reibzeug zu verhindern, welches aus den demselben am nächsten gelegenen Spitzen der Saugarme bei der gewöhnlichen Einrichtung statt finde. Indeſs haben mich Versuche mit einer ganz nach dem Muster der beschriebenen eingerichteten Maschine gelehrt, daſs diese Art von Zuleitern, wenn sie auch der Scheibe noch so nahe gebracht werden, (van Marum näherte sie bis auf $\frac{1}{8}$ Zoll) doch die E. nicht so vollkommen einsaugen,

als Spitzen, und dafs man auch das Ausströmen nach dem Reibkissen (und nach der Achse, welches nicht weniger in Betrachtung kommt) hinlänglich verhütet, wenn man an die Enden der beiden Bogen zwei runde, etwa 5″ im Durchmesser haltende, etwas ausgehöhlte Scheiben anbringt, die an ihrer der Glasscheibe zugekehrten ausgehöhlten Fläche mit drei Spitzen versehen sind. Um die Zerstreuung der E. des Conductors längs den Trägern zu verhüten, sind diese mit Kugeln T T von Mahagoniholz versehen, welche zugleich die kupfernen Zwingen, die auf die Träger eingekittet sind, bedecken, deren Ränder, wenn sie unbedeckt wären, den Verlust eines grofsen Theils der dem Conductor mitgetheilten E. verursachen würden. Alle drei Träger haben auch unten Ringe von Mahagoniholz, V, V, V, um die kupfernen Zwingen zu bedecken, in welche die Träger gekittet, und welche mit breiten Füfsen versehen sind, um auf der Basis des Apparats vermittelst eiserner Schrauben recht gut befestigt zu werden.

Eine besondere Sorgfalt hat van Marum darauf verwendet, die Achse an seiner neuen Maschine isolirend zu machen, um alle Zerstreuung der E. durch dieselbe möglichst zu verhindern. Die Mitte des nicht leitenden Theils der Achse ist ein Cylinder von Nufsbaumholz a a a a, der am Feuer so stark ausgetrocknet worden ist, dafs er so gut isolirt als Glas. Er wird nachher, wenn er noch heifs ist, mit Bernsteinfirnifs überzogen. Die beiden Enden dieses Cylinders, welche von einem kleineren Durchmesser sind, werden durch starke Hammerschläge in starke kupferne Kappen oder Zwingen b und c eingeprefst, und durch drei eiserne Schrauben d d festgehalten. Der Cylinder a a und die beiden Zwingen b, c sind mit einer Lage von Gummilack e e e e bedeckt, um den hölzernen Cylinder desto besser in seinem isolirenden Zustande zu erhalten und zu verhindern, dafs der Stand der Zwinge c nicht gegen die andere Zwinge ausströme, was verursachen würde, dafs es auch die Zuleiter des Conductors gegen die Achse thäten. Der Boden der Zwinge b ist auf das Ende der eisernen Achse B festgeschraubt. Der Boden der Zwinge c, der 4″ im Durchmesser hat, endigt sich in eine Achse, von 1″ Dicke und 2″ Länge, deren Ende zu einer Schraube geschnitten ist. Man stellt die Glasscheibe darauf und drückt sie durch eine Schraubenmutter h von Buchsbaumholz, die zu einer Halbkugel abgedreht ist, fest. Zwischen

der Fläche der Zwinge und der Scheibe und zwischen dieser und der Schraube h sind zwei Ringe von Filz, und in dem Loche der Scheibe, das zwei Zoll im Durchmesser hat, ist auch ein Ring von Buchsbaumholz, damit die Scheibe auf keine Weise das Kupfer berühre und keine Risse darin entstehen. Die Schraubenmutter h hat zwei Löcher i i, um die Spitzen eines eisernen Schlüssels aufzunehmen, mit welchem man auf und zuschraubt. Diese Art der Fassung der Scheibe gewährt mannigfaltige Vortheile vor der sonst gewöhnlichen, wo die Scheibe zwischen zwei Backen fest gekittet wurde. Die Gefahr, welche beim Aufkitten der Backen für das Springen der Scheibe statt findet, fällt hier ganz weg, die Maschine wird ungemein leicht transportabel, da die Scheibe für sich allein, wie jedes Spiegelglas leicht verpackt, uud auch die übrigen Theile, von einander getrennt, bequem zusammengelegt werden können; endlich ist, wenn man ein Unglück mit der Scheibe gehabt haben sollte, der ganze übrige Apparat unverändert zu gebrauchen, indem man bloſs eine neue Scheibe anpaſst. Auſser allen diesen Verbesserungen empfiehlt sich diese neue Maschine auch noch durch sehr zweckmäſsig eingerichtete Reibzeuge von der Art, wie sie van Marum in jenem früheren Schreiben an Landriani beschrieben hat. Fig. 43. Sie werden aus einer Holzplatte, die die Rückwand derselben bildet, verfertiget, dieses Holz wird mit einem äuſserst locker gesponnenen dicken und elastisehen Wollengarn (oder auch mit Roſshaaren) belegt, und mit schwedischem Hundsleder oder dünnem Kalbsleder überzogen. Nach einer ersten Einrichtung hatte van Marum die Scheibe an Taffent gerieben, der durch ein mit Sammet überzogenes Holz an das Glas angedrückt wurde; bei gröſseren Maschinen, wie namentlich bei der Teyler'schen, bei welcher er diese Einrichtung anbringen wollte, war aber die Reibung zu stark, und er muſste daher zum Leder wieder seine Zuflucht nehmen, das unter allen Umständen den Vorzug verdient. Ihre Länge beträgt bei der van Marumschen Maschine 9″, wodurch also die Scheibe in einer sehr groſsen Ausdehnung gerieben wird, und wobei zwar das vordere Ende der Reibkissen der Achse sehr nahe kommt, bei der isolirenden Beschaffenheit derselben aber darum doch, wenn negativ elektrisirt wird, kein Ausströmen nach derselben zu befürchten ist. Auſserdem ist dieses vordere Ende mit Scheiben von Gummilack y y bedeckt, welche auf drei Seiten

hervorstehen, und verhindern, dafs die Ränder und Ecken dieses Theils im erwähnten Falle keine E. einziehen (nämlich im Sinne der Franklin'schen Theorie). Auch ist ein Paar der
Fig. 41. Reibzeuge mit einer Kugel J versehen, um zu verhindern, dafs die Enden der hölzernen Stäbe *α α*, an welchen der Wachstaffent befestigt ist, nicht E. einsaugen. Am andern Paare der Reibzeuge ist es dadurch verhindert, dafs die Stäbe *β* so kurz gemacht werden, dafs die Kugel T das Einsaugen verhindert.
Fig. 43. Die Breite dieser Reibzeuge beträgt nur 2¼". Sie werden durch eiserne (oder messingene) Federn e, e festgedrückt, welche durch eine gemeinschaftliche Schraube nach Belieben angezogen werden können. An jedes Reibzeug ist eine Eisen- (oder Messing-)Platte x, x angemacht, welche 3" lang und 1" breit ist. Sie ist durch Schrauben auf dem Rücken des Reibzeuges befestigt, und diese Platte ist an das Ende der Feder durch ein gewöhnliches Charnier festgemacht. Jedes Paar der Reibzeuge ist durch eine Schraube auf eine kupferne Platte befestigt, welche die Form eines Schwalbenschwanzes hat, und welche in eine Kugel Z von 6" im Durchmesser, die auf die Zwinge des gläsernen Trägers A geschraubt ist, pafst. Der Theil der Kugel Z, welcher dem Rande der Scheibe gegenüber steht, ist bei ¼ des Durchmessers abgeschnitten, so dafs der Schnitt fast 5" im Durchmesser hat. An dieser Stelle ist eine Kupferplatte a a von ¼" Dicke angelöthet, welche in Form eines Schwalbenschwanzes ausgehöhlt ist, um den Schieber oder die Platte von Kupfer *α α* aufzunehmen. Die Mitte dieses Schiebers ist viereckt durchbohrt, um eine Schraube c durchzulassen. Die Eisenplatte d d, welche die beiden Federn e e durch Charniere verbindet, wird über diese Schraube gesteckt, und auf dem Schieber *α α* durch Hülfe einer starken Schraubenmutter f festgehalten. Man bringt die beiden Schieber *α α* an ihre respectiven Stellen an der Kugel Z von oben her, und da sie unten schmäler sind, als oben, so müssen sie fest halten, wenn sie weit genug herabgedrückt sind. Die dünnen Eisenbleche, womit die Reibzeuge auf ihrem Rücken versehen sind, und welche das Charnier x x berühren, indem sie die ganze Breite des Reibzeugs bedecken, schliefsen sich an die mit Amalgama bestrichene Fläche an. Die Bleche haben hier den doppelten Nutzen, den Uebergang des el. Fluidums gegen das Amalgama zu erleichtern, wenn man *positiv* elektrisirt, und die Communi-

cation zwischen dem reibenden Amalgama und dem Conductor am vollkommensten zu machen, wenn man sich der *negativen* E. bedient. Die Art der Befestigung und die Form der Flügel von Wachstaffent, die an die Reibkissen angebracht werden, erhellet aus der Zeichnung hinlänglich, und die erforderlichen Eigenschaften des Taffents sind oben angegeben.

Aufser dieser Einrichtung der Scheiben-Maschine scheint mir noch diejenige eine nähere Beschreibung zu verdienen, durch welche der Zweck *gleich starker positiver* und *negativer Elektrisirung* eben so vollkommen, aber auf eine viel einfachere Weise erreicht wird, und welche neben diesem Vorzuge noch viel gröfsere Wirkungen durch die sogenannte einfache, nicht verstärkte, E. am ersten Leiter hervorbringt, wenn sie gleich in Rücksicht auf die wirkliche Quantität der durch das Reiben erregten E., und eben darum beim Laden von Flaschen und Batterien nachsteht. Ich theile zu diesem Behuf eine Beschreibung und genaue Abbildung meiner eigenen Maschine mit. Sie ist von einem schon verstorbenen, sehr geschickten, Künstler Bout in Hamburg gearbeitet, welcher viele empirische Kenntnisse in diesem Fache besafs, und aus langer Erfahrung die Verhältnisse der Conductoren, ihre Länge, Dicke, ihre Endungen, um das Maximum von Wirkung zu erhalten, sehr richtig zu bestimmen wufste. Das Eigenthümliche dieser Maschine besteht darin, dafs die Scheibe nur von einem einzigen Paare Reibkissen, die wie an der van Marum'schen Maschine eine horizontale Stellung haben, gerieben wird, und dafs diesem Paare Reibkissen gegenüber sich der Einsauger befindet. Alle Mafse sind nach Pariser Mafs bei jedem Theile genau bemerkt. Die Scheibe von dem besten polirten weifsen Glase, deren Rand am Umfange sehr genau abgeschliffen ist, worauf bei Scheiben sehr viel ankommt, ist auf eine sehr einfache und doch solide Weise auf ihre hölzerne Axe gefafst. An dieser ist nämlich auf der einen Seite des Glases, welche nach der Kurbel hingerichtet ist, eine hölzerne Halbkugel, aus einem Stücke gedrehet, angebracht, in der andern Hälfte der Axe dagegen, da wo sie an das Glas angrenzt, ein Schraubengewinde eingeschnitten. Nachdem die Axe durch das Loch der Scheibe, das nicht ausgefüttert zu seyn braucht, durchgesteckt ist, wird eine andere gleich grofse Halbkugel, in welche eine, jener männlichen entsprechende, weibliche Schraube eingeschnitten ist,

Fig. 44 u. 45.

auf dieselbe auf und fest an die Glasscheibe angeschraubt, und um dieses Anschrauben recht dicht machen zu können, werden die nach der Scheibe hingekehrten Flächen der beiden Halbkugeln mit Scheiben von weichem und recht gleichförmigem Schafsleder versehen, die zu diesem Behuf in der Mitte ein Loch haben, um auf die Axe aufgesteckt zu werden. Das feste Anschrauben geschieht vermittelst eines starken zweiarmigen Schraubenziehers, zu dessen Anbringung in jener aufzuschraubenden Halbkugel die nöthigen Löcher angebracht sind[1]. Die hölzerne Axe ist von einem recht trockenen und harten Holze, und um sie noch isolirender zu machen, so wie die Halbkugeln mit einem guten Firniſs dick überzogen. Diese Axe ruht auf beiden Seiten auf zwei hohen massiven Glassäulen, welche in eine starke hölzerne Fassung von Mahagoniholz mit einem eingeschnittenen Lager für die Axe eingelassen sind. Die obere Hälfte dieses Lagers ist durch zwei starke Holzschrauben mit wohl abgerundeten Köpfen fest angeschraubt. Die Kurbel ist eine starke Glasstange, deren Handgriff ebenfalls von wohl polirtem Mahagoniholze gemacht ist, und die am andern Ende in eine groſse ringförmige Fassung von Mahagoniholz, welche über die Achse greift, eingekittet ist. Das Reibzeug besteht

---

1 Muncke vermeidet die Pressung, welche die Scheibe hiernach in ihrer Mitte erleidet, dadurch, daſs er die ledernen Scheiben auf beiden Seiten mit etwas venetianischem Terpentin bestreicht, wodurch sie so fest an das Glas und Holz kleben, daſs es keines Anziehens der Schraube bedarf. Hiermit ist indeſs der Nachtheil verbunden, daſs nach dem unglaublichen Erhärten des Terpentins die Halbkugeln von der Scheibe nicht wieder getrennt werden können. Deswegen pflegt derselbe den kugelförmigen Theil der Axe aus vier Segmenten verfertigen zu lassen, wovon die zwei, welche an der Scheibe anliegen, etwa 0,75 bis 1 Z. dick am Glase auf die angegebene Weise festgeklebt, und dann nach dem Durchstecken der Achse mit den beiden andern durch Pflöcke verbunden werden. Fig. 46
Fig. 46. zeigt eine solche Fassung für zwei Scheiben, wobei aa eine massive gläserne Axe ist, h deren messingene Fassung mit einem Theile der gläsernen Kurbel b; die parallelen Scheiben c, ć liegen zwischen den
Fig. 47 u. 48. aufgeklebten Stücken αα; άά, deren Befestigung auf dem hölzernen Ueberzuge der gläsernen Axe aus der Zeichnung ersichtlich ist, β, β́ endlich sind die halbkugelförmigen Schluſsstücke. Man kann sonach beide Scheiben mit den angeklebten Stücken αα; άά von der Axe nehmen, und durch zwischengelegte Stücke Papier ihre Flächen leicht völlig parallel machen.

aus zwei Stücken, einem hölzernen an welches die das Kissen andrückende Feder befestigt ist, und dem eigentlichen Reibkissen gg, welches davon getrennt werden kann. Das untere Stück ist mit einem Ansatze in die hölzerne Kugel d fest eingelassen, und mit dieser Kugel auf die Glassäule p p, wodurch der Reibungsapparat auf das vollkommenste isolirt ist, festgekittet. Auf der innern Seite dieser in die Kugel eingelassenen Stücke ist eine starke gabelförmige, eiserne, wohl lackirte Feder angebracht, die mit ihrer Krümmung an die dem Rande der Scheibe zugekehrte Fläche der hölzernen Kugel durch eine Schraube befestigt ist, mit ihren beiden Armen längs den Ansätzen jener Holzstücke an ihrer innern Seite hinläuft, mit denen auf beiden Seiten eine aufwärts gehende gabelförmige Feder verbunden ist, die mit ihren weit aus einander stehenden Armen in zwei Höhlungen des eigentlichen Reibkissens eingreift. Zu diesem Behuf besteht dieser Theil des Reibers aus einer starken Holzplatte mit einem Rahmen, über welchem das eigentliche mit gutem Kalbsleder überzogene Kissen gespannt ist, an dessen Rückseite noch kreuzweise federnde Streifen von Eisenblech angebracht sind, an welchen die gleichförmige Feder anliegt. Um diesen für sich beweglichen und abnehmbaren Theil des Reibzeugs an der gabelförmigen Feder festzuhalten, sind die Enden ihrer Arme in Ringe umgebogen, durch welche der messingene Stab p p gesteckt wird, der an seinem Ende mit der elfenbeinernen Kugel r versehen ist, um alles Ausströmen zu verhindern. Um das Reibkissen beliebig stark andrücken zu können, geht auf jeder Seite durch den Rücken des festen Theiles eine hölzerne Schraube, welche auf die aufwärts gehende Feder, da wo sie sich in die Gabel spaltet, aufdrückt, und nach dem Grade, wie sie angezogen wird, diesen mehr oder weniger stark an den gegen die Scheibe gekehrten elastischen Theil des eigentlichen Reibkissens andrückt. Der horizontale Theil der Feder ist an einem Messingstab angeschraubt, der durch die Kugel d hindurchgeht, und an seinem Ende eine hölzerne, wohl lackirte, Kugel e trägt. Alle Ränder der Reibzeuge sind auf das vollkommenste abgerundet, und alles Holzwerk ist wohl überfirnifst.

Der Einsauger c ist eine Gabel von wohl lackirtem nach außsen abgerundeten Holze, von derselben Länge, wie das Reibkissen, deren innere Fläche ausgehöhlt und mit einigen Fig. 44.

Spitzen besetzt ist, über welche noch ein ganz dünner Taffen gespannt ist. Diese Spitzen sind in Metallstreifen eingelassen, welche in Verbindung mit einem kupfernen Stifte sind, der durch die Kugel c hindurchgeht, frei in einer Länge von 7'' hervorsteht, und eben so wie der messingene Stab am Reibkissen mit einer hölzernen Kugel b sich endigt. Zwischen den Armen dieser Gabel bewegt sich die Scheibe so nahe durch, dafs sie beinahe von ihr berührt wird. Um den Taffent gehörig zu spannen, ist oben in das Lager der Axe ein wohl lackirter hölzerner Stab eingesteckt, der sich in eine Glassäule endigt, von welcher ein hölzerner Querarm ausgeht, der zwei mit der Scheibe in einer Richtung befindliche, an ihren beiden Enden durch eine Kugel von Elfenbein zusammengehaltene Leisten trägt, zwischen welchen der Taffent geklemmt ist, der mit dem untern Rande der nach den Reibkissen gerichteten Flügel an diese selbst angenäht ist.

Fig. 49. Zu dieser Maschine gehören zwei Conductoren von Messingblech, die auf beinahe 3 Fufs hohen Glassäulen isolirt stehen, von cylinderischer Form, 3' 1'' lang und 4'' 2''' im Durchmesser, die sich in zwei Knöpfe von einem etwas gröfseren Durchmesser endigen, in deren Mitte messingene Röhren, die bis zu einer Länge von 1' 2'' ausgezogen werden können, eingesteckt sind, wovon sich die eine in eine kupferne Kugel von 4'' 3''', die andere in eine Kugel von 2'' 4''' endigt. Beim Gebrauche der Maschinen werden diese Conductoren mit ihren kleinen Kugeln in dichte Berührung mit den messingenen Stäben in senkrechter Richtung auf dieselben gebracht, und da unter diesen Umständen auf beiden Seiten sich alles auf gleiche Weise verhält, so werden die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten der positiven und negativen E. um so entscheidender, und es ist ein ganz besonderer Vortheil dieser Einrichtung, dafs man mit beiden E. zu gleicher Zeit ganz unter denselben Umständen experimentiren kann. Da nur ein Paar Reibzeuge hier angebracht ist, so geschieht die Bewegung dieser Maschine mit grofser Leichtigkeit, auch bei starkem Andrücken der Reibkissen. Der gröfste Vortheil dieser Art der Construction ist jedoch die bei gleichem Durchmesser der Scheiben gröfsere Entfernung des ersten Leiters vom Reibkissen, als bei der Anbringung von zwei Paar Reibkissen, wodurch die Entladung des ersten Leiters nach dem Reibkissen, und umgekehrt (letzteres beim negativen

Elektrisiren) erschwert wird, und die Anhäufung und Intensität der E. in dem Conductor und eben damit die Länge und Stärke des einfachen Funkens, die Gröfse der Feuerbüschel u. s. w. sich viel weiter treiben läfst. Wie aufserordentlich viel die eben beschriebene Maschine zu leisten vermöge, werden wir weiter unten bei der Vergleichung ihrer Wirkungen mit denjenigen von gleich grofsen Scheiben deutlich ersehen. Ohne Zweifel hängt übrigens die aufserordentliche Wirksamkeit derselben, aufser der Güte der Scheibe, von der vollkommenen Isolirung ab, indem alles Metall auf das sorgfältigste vermieden, alle Kugeln am Reibzeuge und dem Einsauger von wohl überlackirtem Holze gemacht, die Glassäulen blofs in Holz eingelassen sind u. d. g. m. Beim Gebrauche dieser Maschine zur Ladung von Batterien wird der grofse Leiter gar nicht gebraucht, sondern die Verbindung unmittelbar mit dem aus der Kugel des gabelförmigen Einsaugers hervorstehenden Messingstabe gemacht, so wie denn auch, wenn man blofs Versuche mit positiver E. anstellen will, der andere grofse Conductor nicht gebraucht, sondern das Reibzeug durch einen starken Draht unmittelbar mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird.

C. Glas-Glocken-Maschine.

Wolfram hat eine neue Art von Elektrisir-Maschinen in Vorschlag gebracht, die aus ähnlichen Glasglocken bestehen, wie diejenigen, die zu Recipienten bei der Luftpumpe dienen [1]. Eine solche Glocke dreht sich, ihren gewölbten Theil nach unten gekehrt, auf einer senkrecht stehenden Achse, und wird nicht nur an der äufsern, sondern auch an der innern Fläche gerieben, wodurch sie sich von der Cylinder-Maschine wesentlich unterscheidet, und gleichsam mit der Scheiben-Maschine Aehnlichkeit bekommt. Fig. 50.

Das Gestell A gleicht einem Säulenfufse, ist aber eigentlich ein hölzerner 36 Zoll hoher Kasten. Die Grundfläche desselben hat 23″, der horizontale Durchschnitt des Rumpfes 21″ und die Deckplatte a b 24″ im Quadrat. Die Deckplatte, um sie nach Umständen leicht abnehmen zu können, wird blofs festgehalten durch vier im Innern des Gestells befindliche und in Oesen der Platte eingreifende Hacken, und schliefst überdies mit 4 an ihrer untern Fläche befindlichen Leisten an den Rumpf des Ge- Fig. 51.

1 Gilb. Annalen 1823. II. S. 53.

stelles genau an. Der Mechanismus zur Umdrehung der Glocke ist in dem Gestelle angebracht, und zwar an der untern Fläche der Deckplatte. Er besteht in einer Schraube ohne Ende, welche vermittelst der Kurbel c d in Bewegung gesetzt wird. Das Stirnrad hat 21, und das Getriebe acht Schraubengänge, die Glocke macht also etwas mehr als 2,5 Umgänge, während die Kurbel einmal herumgedreht wird, wodurch ein hinlänglich schneller Umlauf entsteht; das Rad ist von Messing und das Getriebe von Stahl, und beide befinden sich in einem Gehäuse, welches aus vier eisernen, fast $\frac{1}{8}$ Zoll dicken, Platten besteht. Die untere dieser Platten ist 3″ lang und 2″ breit, die obere dagegen einige Zoll länger und breiter. Diese obere Platte wird mit 4 Schraubenmuttern auf die beiden Seitenplatten befestigt, welche 3″ breit und eben so hoch sind, und mit der Bodenplatte aus einem Stücke bestehen können. Damit man die ganze Vorrichtung an das obere Blatt a b des Gestelles gehörig befestigen könne, ist in dieses in der Mitte eine Metallplatte eingelassen, an welche sich das Gehäuse so anschrauben läſst, daſs die 3″ weit hervorragende, oben viereckige, Welle des Getriebes genau senkrecht steht. Jede der beiden Seitenplatten hat einen Einschnitt 1 Zoll tief und 1,5 Zoll breit, in welchen ein 0,5 Zoll dickes vierkantiges, oben und unten mit einem Falz versehenes, Stück Messing eingeschoben wird. Diese beiden in der Mitte durchbohrten Metallstücke sind die Futter für die Welle des Stirnrades. Statt der Schraube ohne Ende läſst sich auch bei dieser Maschine der Mechanismus mit einem Rade und Würtel anbringen, welches bei der starken Reibung der Schraube ohne Ende wohl besser ist. Die Glocke G ist von weiſsem Glase, und muſs wenigstens so weit als sie gerieben wird, möglichst cylindrisch, und an ihrem gewölbten Theile mit einem Halse versehen seyn. Ihr Hals und ein Theil der Wölbung werden in eine wohl abgedrehte Haube e h von festem und gedörrtem Holze eingekittet. Unten hat die Haube eine messingene Fassung f, mittelst welcher die Glocke auf den über das Gestell hervorragenden Theil des Getriebes aufgesetzt
Fig. 52 u. 53. wird. Das Reibzeug ist demjenigen, welches van Marum an seiner verbesserten Scheiben-Maschine angebracht hat, in der Hauptsache ähnlich. Die einzelnen Theile desselben sind folgende: 1. Zwei Brettchen 8″ lang und 3″ breit. Die dem Glase zugekehrte Fläche des einen Brettchens ist seiner Breite nach

etwas convex, die des andern etwas concav. Die Puncte an der Seite l stellen beinerne Knöpfchen von 2‴ Durchmesser vor; eine gleiche Anzahl befindet sich auch an dem andern, auch trägt jedes an der Mitte seines obern Randes ein solches Knöpfchen. 2. Zwei dünne Latten p, v, 8″,5 lang, 2″ breit und 3‴ dick. 3. ein Stück Holz q r 3″ hoch, von der Breite der Latten, und übrigens so gestaltet, wie die Figur zeigt. 4. Ein Stäbchen s t, bei s mit einem Knopfe, bei t mit einem Gewinde und einer Schraubenmutter versehen, alles vom festesten und trockensten Holze. Nahe am Knopfe ist dieses Stäbchen vierkantig, der übrige Theil ist abgedreht, die ganze Länge beträgt 4″. Die beiden Lattchen sind durch Charniere oben mit dem Stücke q r und unten mit den Brettchen n u verbunden, welche für diesen Zweck in der Mitte ihrer Länge einen Absatz haben. Das Stück q r ist von der vordern Seite nach der hintern durchbohrt, um den kleinen Stab s t durchzulassen. Das Lättchen p hat zu gleichem Behuf eine vierkantige, das Lättchen v eine runde Oeffnung. Noch gehören zum Reibzeug 5. die beiden Polster x x. Sie bestehen aus mehreren Lagen eines weichen wollenen Zeuges, und das Ganze ist mit Seidenzeug überzogen. Jedes Polster wird an die vorhin gedachten Knöpfchen angehängt, eben so das mit Amalgama bestrichene Leder oder Seidenzeug. Die leitende Verbindung dieses mit dem Brettchen wird durch ein um den Polster gelegtes Blatt Stanniol, und die jedes Brettchens mit dem Conductor durch einen Metalldraht bewirkt. Nur an den Kissen des äufsern Reibers befindet sich der seidene Lappen.

Zur Verbindung des Reibzeugs mit der Maschine dienen 4 Stücke insgesammt von Messing; nämlich 1. zwei horizontal liegende Röhrchen in dem für die negative E. bestimmten Conductor. 2. Zwei mit Kugeln versehene Stäbe y z, welche sich in jenen Röhrchen leicht hin und her schieben lassen, ohne im mindesten zu schlottern. 3. Die beiden oben und unten mit Kugeln versehenen Stäbchen a a, welche mit den Kugeln 4″ lang sind; 4. endlich zwei Querstäbchen, wovon eins bei b sichtbar ist, dessen Zapfen durch die Kugeln c c hindurchgehen, und sich in die Kugeln d d endigen, in welchen sie sich leicht umdrehen lassen. Das andere Querstäbchen ist durch das Stück q r, bei e gesteckt, seine aus demselben hervorragende Zapfen gehen durch die Kugeln ff, und haben, so weit sie aus diesen

hervorragen, Gewinde, an welchen die kleinen Kugeln gg vorgeschraubt werden.

Die beschriebene Einrichtung des Reibzeugs gewährt den Vortheil, es immer an die rechte Stelle bringen zu können, die Glocke mag eng oder weit seyn, dem Schwanken der Glocke nachzugeben, ohne dafs die Stärke des Reibers im mindesten geändert wird, durch Anziehen oder Nachlassen der Schraubenmutter bei t eine Vergröfserung oder Verminderung des Druckes nach Belieben zuzulassen, und bei nicht ganz cylindrischer Krümmung der Glocke den an dem einen Reibkissen zu geringen Druck durch den stärkeren des andern gleichsam zu ersetzen.

Die beiden Hauptleiter der Maschine sind hohle messingene Cylinder 3″ im Durchmesser und 16″ lang. An ihren Enden haben sie Kugeln von 4″ Durchmesser, mit welchen sie auf massiven überfirnifsten und 27″ hohen Glassäulen ruhen. Unten ist jede dieser Glassäulen in ein Fufsgesimse gekittet, welches sich an einem viereckigen, auf dem Deckblatte des Gestells befestigten Untersatz aufschrauben läfst. Oben haben die Säulen keine Fassung, und die in den Kugeln befindlichen, unten offenen, Röhren werden unmittelbar auf die angeschliffenen Zapfen der Glasstäbe gesetzt. Die unter der Kugel an jeder Säule befindliche Hülse ist von Holz.

Zur Aufnahme der E. von der Glocke dient die in der Zeichnung angegebene Vorrichtung am vordern Leiter. Es ist
Fig. 54. r eine messingene Röhre 1″ weit und 7¼″ lang, die Kugeln k, l haben 1,5 Zoll im Durchmesser. Von einer zur andern ist ein Clavierdraht gespannt, welcher die Stelle der einsaugenden Spitzen vertritt, und vor diesen Vorzüge hat. Ueber der Kugel k befindet sich die engere 3,5 Zoll lange Röhre mit der durchbohrten Kugel m, welche sich längs des Stäbchens n, an dessen einem Ende die Kugel w befindlich ist, verschieben und mittelst der Schraube o feststellen läfst. Quer durch die Mitte des Hauptleiters geht in horizontaler Richtung ein Röhrchen, welches zu beiden Seiten etwas hervorsteht; an der vordern
Fig. 61. Seite wird die Kugel J, mittelst welcher sich ein Quadrantenelektrometer und manche zu den Versuchen nöthige Vorrichtungen leicht an den Leiter befestigen lassen, vorgeschraubt,
Fig. 54. an der, der Glocke zugewandten, Seite hat das Röhrchen einen wohl abgerundeten Ring mit einer Schraube, mittelst welcher

das in das Röhrchen passende Stäbchen n, nachdem man es so weit hineingeschoben, daſs der Clavierdraht von der umlaufenden Glocke nicht mehr berührt wird, festgehalten werden kann. Von einem doppelten Einsauger würde nur dann Gebrauch zu Fig. 55. machen seyn, wenn die Schwankung der Glocke beträchtlich wäre. In der Wirkung der Maschine fand kein Unterschied statt, ob nur der einfache Einsauger an der äuſsern oder innern Fläche der Glocken, oder der doppelte angebracht war.

Auf der Deckplatte des Gestells ist unter der Kugel l ein Fig. 51. gewöhnlicher Funkenmesser angebracht, dessen Kugel n sich in verschiedene Entfernungen bringen läſst. Eine kurze Würdigung der etwaigen Vorzüge dieser Art von Maschinen vor den beiden bisher abgehandelten, wird weiter unten ihren Platz finden.

II. Elektrisirmaschinen aus andern Materien als Glas.

Es ist nach dem bisher Angegebenen und nach dem im Artikel *Elektricität* über die Erregung derselben im Allgemeinen Vorgetragenen leicht einzusehen, daſs sich aus noch vielen andern sogenannten eigenthümlich elektrischen Substanzen wirksame Elektrisirmaschinen verfertigen lassen, wenn sie nur in eine passende Form gebracht werden können, um ein schnelles fortgesetztes Reiben zuzulassen. Man sieht auch leicht ein, daſs man solche Maschinen durch schickliche Wahl des idioelektrischen Körpers und des Reibzeugs unmittelbar für negative E. einrichten kann. Und wirklich sind auch mehrere solche nicht unwirksame Maschinen von verschiedenen Physikern ausgeführt.

Volta gab in einer Dissertation[1] Nachricht von einer Elektrisirmaschine, die aus einer bloſsen Scheibe von wohlausgetrockneter Pappe verfertigt war, aus welcher er schöne groſse Funken erhielt, eine Leidner Flasche ziemlich stark lud u. s. w. Auch Dr. Ingenhouss versuchte schon 1772 den, wenn sie groſs sind, kostbaren und doch leicht zerbrechlichen, Glasscheiben runde mit Copal- oder Bernstein-Firniſs getränkte

1 De corporibus eteroelectricis quae fiunt idioelectrica experimenta atque observationes. 1771.

Scheiben von Pappe unterzuschieben[1]. Er drehte drei solcher Pappdeckel an einem Gestell, in welchem sie sich an zwischenliegenden, mit Flanell und einem Hasenbalge überzogenen, Brettern rieben und erhielt dadurch eine starke E. mit 5 Zoll langen Funken, die sich sehr geschwinde folgten. Aber in einem kalten Zimmer zog die Pappe Feuchtigkeit an und verlor alle Kraft. VAN MARUM verfiel auf den Gedanken[2] eine Scheibe von Gummilack, deren unterer Theil in ein Gefäſs von Quecksilber reichte, und sich also beim Umdrehen an Quecksilber rieb, den Glasscheiben zu substituiren, die aber bei feuchter Witterung unwirksam sind, wenn sie nicht vorher stark erhitzt werden, wobei die Gefahr des Springens eintritt. Da aber die Verfertigung von dergleichen Scheiben beschwerlich und die Geräthschaft kostbar ist, so hat dieser Vorschlag nicht den erwarteten Beifall gefunden. PICKEL schlug zu Scheiben-Maschinen für negative E. im Backofen wohl ausgedörrtes Holz vor[3] und machte selbst glücklichen Gebrauch davon. Auch VOLTA beschreibt eine solche Scheiben-Maschine von gedörrtem Holze, die von bedeutender Wirkung war. KOHLREIF[4] brachte an seiner Scheiben-Maschine hölzerne Scheiben an, wenn er — E dadurch erhalten wollte. Sie werden aus solchem Holz, das wenig Harz hat, verfertigt. Die Scheibe wird geglättet, und bei öfterem Umkehren über einem Kohlenfeuer stark geröstet, aber nicht gebrannt. Die schicklichsten Reiber hierzu sind kurzhaariges Rauchwerk z. B. gut gegerbte Maulwurfs- oder Ratzenfelle. Das Krümmen der Scheiben beim Rösten ist kaum zu vermeiden, man muſs sie aber gleich nach dem Rösten zwischen weiches Papier legen, und mit einem Gewichte beschweren. Sie sind auch biegsam und bequemen sich beim Umdrehen nach dem Kissen. Noch besser eignen sich gewisse vorzüglich aus der Classe von Seiden-, Wollen- und Baumwollenzeugen genommene Materien zu Elektrisir-Maschinen von cylindrischer Form. Eine der wohlfeilsten Maschinen dieser Art, und welche dennoch die gewöhnlichen Elektrisir-

---

1 Verm. Schriften von Molitor. Wien 1784. gr. 8. S. 18 ff.

2 Abhandlung über das Elektrisiren aus dem Holländ. übers. von Möller, Gotha 1777. 8.

3 Experimenta physico-medica de electricitate. Wirceb. 1778. 8.

4 S. Lichtenb. Magazin Bd. I. St. 3. S. 103.

Maschinen an Stärke zuweilen übertrifft, weil man sie durch Erwärmen so leicht gegen die schädlichen Wirkungen der Feuchtigkeit schützen kann, ist die von LICHTENBERG[1] im Jahre 1781 angegebene. Das vorzüglichste Stück an derselben, wodurch sie sich von andern unterscheidet, ist die mit schwarzem glatten wollenen Zeuge überspannte Trommel a a a a. (Man kann sie auch mit Seidenzeug, Glanzleinwand oder Papier überspannen. Zeug und Leinwand werden bloſs mit Stiften befestiget, um sie im Nothfall von neuem zu spannen). Die an beiden Seiten des Gerippes befindlichen hölzernen Scheiben m m sind an den innern Seiten mit Streben versehen, damit sie sich nicht einwärts beugen, und der Spannnng des Zeuges nachtheilig werden können. Die beiden Axen-Enden der Trommel b b gehen, wenn das Gestell aus einander genommen werden kann, durch dessen Seiten. Ist das Gestell fest zusammengefügt, so kann sich die Trommel auch hinter vorgeschraubten eisernen Platten bewegen. Der Reiber d d ist ein mit langhaarigem Katzenfelle überzogenes Kissen, das an eine starke Glasröhre, oder in deren Ermangelung an einem Stab von gebackenem und mit Firniſs überzogenem Holz befestigt wird; die Röhre oder der Stab geht durch den obern Theil des Gestelles, wo eine Schraube f befindlich ist, sie in der gehörigen Stellung festzuhalten. Von dem Kissen geht mitten durch die Röhre oder den Stab ein starker metallener Draht bis zu der oben befindlichen metallenen Kugel g. Diese Zurichtung dient dazu, das Kissen zu isoliren, um dadurch die entgegengesetzte E. zu erlangen. An der vordern Seite des Kissens gegen den Zuleiter hin ist ein Streifen Wachstaffent h h befestiget, der über einen Theil der Trommel hinreicht. In einiger Entfernung unter der Trommel ist auf dem Gestelle ein Brett, auf welches eine Kohlenpfanne i gestellt werden kann, um der Trommel im Sommer die nöthige Wärme und Trockenheit zu verschaffen; im Winter ist es schon hinreichend, die Maschine in die Nähe eines Ofens oder Kamins zu bringen. Die Kette k am Halse der Kugel g, dient sowohl die el. Materie abzuleiten, da das Kissen isolirt ist, oder wenn sie mit einem isolirten Conductor verbunden wird, die entgegengesetzte E. zu erhalten. Der metallene Conductor ist mit dem Zuleiter o verbunden, und steht auf einer starken Glassäule p.

Fig. 56 u. 57.

Fig. 58.

1 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. Bd. I. St. 1. S. 83.

Die Kette ll ist nöthig, die E. weiter zu führen, oder wenn ein Conductor mit dem Kissen verbunden ist, und man die positive E. desselben in jenen anhäufen will, die negative E. abzuleiten. Donndorf[1] beschreibt diese Maschine unter dem Namen des *Lichtenberg'schen Luftelektrophors* (der ganz unpassend auf dieselbe ist) in einer etwas veränderten Gestalt, die ihr der bekannte Mechanicus Stegmann (zuletzt Professor in Marburg) gegeben hatte, wodurch sie aber nur vertheuert wurde. Walkiers de St. Amand hat 1784 eine sehr wirksame, zu dieser Classe gehörige Elektrisirmaschine angegeben und ausführen lassen[2]. Sie besteht aus zwei hölzernen Cylindern von 2 Fuſs Durchmesser und 6 Fuſs Länge, die in zwei 7—8 Fuſs von einander entfernten Gestellen mit Kurbeln umgetrieben werden. Ueber die beiden Cylinder selbst ist ein gefirniſster Taffent, der an beiden Enden zusammengenäht ist, gezogen und mäſsig gespannt, so daſs die Maschine fast wie ein Seidenweberstuhl oder wie eine horizontal gelegte Garnwinde aussieht. Wenn man die Cylinder mit den Kurbeln dreht, so wird der hinlänglich stark gespannte Taffent mit gedreht, und bewegt sich nach und nach über alle Puncte der Cylinder. Die Breite des Taffents ist 5 Fuſs. Das Reibzeug besteht aus 7 Fuſs langen und 2″ im Durchmesser haltenden Cylindern, die mit Katzenbalg überzogen sind. Sie werden durch Schrauben an den Taffent gedrückt, und berühren ihn immer nur in einer Linie. Mitten durch den leeren Zwischenraum beider Taffentflächen geht der Conductor, der 6 bis 7″ im Durchmesser hat, über die Ränder des Taffents an beiden Seiten beträchtlich hervorragt, und in seidenen Schnüren vom Gestelle herabhängt. An den Stellen zwischen den Taffentflächen hat er Spitzen. So wird die erregte (negative) E. nicht von benachbarten Körpern geraubt, sondern häuft sich ganz in dem Conductor an. Die Arbeiter, welche drehen, stehen auf dem Gestelle und geben ihm durch ihr Gewicht einen festern Stand. Ein Jahr später als Walkiers seine groſse Maschine ausgeführt hatte, verfertigte Rouland eine von derselben Art, nur in etwas kleinerem Maſsstabe und mit einigen Abänderungen[3].

1 Lehre von der E. Th. I. S. 26.

2 S. Lichtenb. Magazin Bd. III. St. 1. S. 118.

3 Description des machines électriques à taffétas par M. Rouland. Amsterdam 1785. G. XXIII. 309.

In den Ständern CDEF auf einem Fuſsgestelle senkrecht aufgerichtet, sind zu oberst Löcher geschnitten, welche die Pfannen für die nicht völlig einen Zoll dicken buchsbaumenen Axen zweier leichter, von Brettern zusammengeleimter, und mit Serge überzogener, Cylinder enthalten. Diese Cylinder sind 27″ lang, haben 8″ im Durchmesser, und ihre beiden Endplatten ragen einen halben Zoll über sie hervor. Nur eine der Achsen ist mit einer 6 Zoll langen messingenen Kurbel versehen. Der gefirniſste Taffent KNL (von der Art, deren man sich zu den Aërostaten bedient) geht um beide Cylinder, ist an den Enden zusammengenäht und läſst sich durch Zurückschieben des einen Cylinders und seines Gestells so straff anziehen, daſs beide Cylinder umlaufen, wenn der eine vermittelst der Kurbel gedreht wird. Die Länge des Seidenzeugs beträgt 11 Fuſs oder 132″, die Breite 26″, also einen Zoll weniger, als die Länge der hölzernen Cylinder. Die Reiber sind wie an der Walkier'schen Maschine, durch seidene Fäden an die Ränder der Cylinder befestigt und durch Ketten v, v mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt. Zwei Stücke gefirniſsten Wachstaffents p, q gehen von den Reibzeugen bis zum Leiter, nach Art des Wachstaffents bei den Glasmaschinen. Der erste Leiter S besteht aus Messingblech von gewöhnlicher cylindrischer Form, ist 3″ dick und 36″ lang, schwebt an seidenen Schnüren, welche an den Rändern der Cylinder befestiget sind, zwischen den beiden Ebenen des Taffents, und hat oben und unten nach seiner ganzen Länge ein senkrecht stehendes Blech y, y, welches als sogenannter Einsauger dient, und nur $\frac{1}{2}$″ vom Seidenzeuge entfernt bleibt. Fig. 59.

Bohnenberger hat in der 2ten und 3ten Fortsetzung seiner Beschreibung einiger Elektrisirmaschinen und elektrischer Versuche gleichfalls Einrichtungen zur negativen Elektrisirung angegeben, die mit denen von Walkiers und Lichtenberg im Wesentlichen übereinkommen. Eine solche Trommel-Maschine[1] hat ein etwas einfacheres Gestell, wo an der Trommel nicht bloſs äuſserlich oben und unten, sondern auch inwendig Reiber von Katzenfell angebracht sind, damit das aufgespannte Zeug auf beiden Seiten gerieben, und zugleich das Runzeln desselben verhütet werde. Dem gefirniſsten Taffent gibt er den Vorzug vor dem Wollenrasch; Tamis oder andere geglättete Wollenzeuge

1 3te Fortsetzung.

räth er nicht zu nehmen, da sie ihm zufolge nur schwache E. geben. Zum bequemen Gebrauch im Kleinen hat Ingenhouss[1] eine von ihm im Jahre 1780 erfundene Maschine beschrieben, die wenig Beschädigungen ausgesetzt ist und an der Wand aufgehangen werden kann. Sie besteht aus einem starken 8—9″ breiten und 2½—3 Schuh langen Stück Seidenzeug, welches überfirnifst, am besten mit aufgelösetem Siegellack überzogen ist, und zwischen einer doppelten Kupferplatte mit Hirschhaut oder Katzenbalg überzogen gerieben wird. Diese Kupferplatte ist durch Glasstangen mit zwei messingenen Stäben verbunden, die einen Spalt zwischen sich lassen, durch den das Seidenzeug gleich nach der Reibung durchgeht, daher diese Stangen die E. annehmen und die Dienste eines ersten Leiters thun. Zur Anspannung befinden sich am obern und untern Ende des Seidenzeugs Leisten mit hölzernen Kugeln, durch die seidene Bänder gezogen werden, woran man das Ganze oben an einen Nagel hängen, und unten mit der Hand spannen kann. Mit der andern Hand wird eine cylindrisch gestaltete Leidner Flasche so angesetzt, dafs ihre äufsere Belegung die reibenden Platten, und ihre obere mit der innern Seite verbundene Haube die zum Leiter dienenden Stangen vermittelst angebrachter Stifte festhält. Mit dieser Flasche fährt man nun auf und ab, und nimmt zugleich das Reibzeug und den Leiter mit sich. Dadurch wird die E. erregt und zugleich die Flasche geladen, die der Erfinder übrigens so eingerichtet hat, dafs man in ihr Alles zum Lichtanzünden durch den el. Entladungsschlag nöthige aufbewahren kann.

Durch diese Maschine ist Mundt[2] auf eine ähnliche, jedoch schon als eigentliche Elektrisirmaschine zu betrachtende, Einrichtung geleitet, die bei dem geringen Preise (von höchstens 4 Thalern), um den sie angeschafft werden kann, dem geringen Raume, den sie einnimmt, und dem, was sie dennoch leistet, immerhin einige Beobachtung verdient und deren Beschreibung ich hier aufnehmen würde, wenn sie nicht mehr Raum erforderte, als viele Leser billigen dürften.

---

1 Vermischte Schriften 1784. Th. I. S. 145 ff.

2 Gren's Journal Bd. VII. S. 319.

III. Wirkungen der Elektrisirmaschinen und Vergleichung der verschiedenen Arten derselben in Rücksicht auf ihre Wirksamkeit.

Alle el. Erscheinungen, welche durch das Reiben eigenthümlich el. Körper hervorgebracht werden, zeigen sich durch Hülfe der Elektrisirmaschine im verstärkten Grade, und können durch die zweckmäſsige Einrichtung und Vergröſserung derselben auſserordentlich gesteigert werden. Jener eigenthümliche phosphorische Geruch verbreitet sich sehr bald, so wieman eine kräftige Maschine in Bewegung setzt, und es brechen nach allen Seiten ohne Unterlaſs knisternde Funken in ganzen Büscheln aus denjenigen Theilen des Cylinders oder der Scheibe, die nicht mit dem Wachstaffent bedeckt sind, hervor. Wird der erste Leiter mit der Maschine in Verbindung gesetzt, so kann man sehr starke Funken aus ihm ziehen. Diese Funken variiren in Rücksicht auf Geschwindigkeit, mit der sie sich einander folgen, auf Länge, Dicke, Farbe und sonstiges Ansehen auſserordentlich nach Verschiedenheit der Gröſse und Bauart der Maschine, des Conductors, des Körpers, der den Funken auffängt, des Mediums, durch welchen der Funken schlägt u. s. w. wovon ich hier bloſs dasjenige mittheilen werde, was sich auf den Bau der Elektrisirmaschine bezieht [1].

Es kommt auſser der Gröſse und Beschaffenheit der Elektrisirmaschine an und für sich vorzüglich die *Beschaffenheit des zweiten Leiters*, an welchem die E. angehäuft wird, und des Körpers, auf welchen der Funken überschlägt, in Betrachtung. So lange die E. nicht in irgend einem Puncte eine Dichtigkeit angenommen hat, um den Widerstand der Luft zu überwinden, wird der allmälige Verlust der E. vom Leiter aus, an welchem sie sich anhäuft, ein constanter seyn, wenn die auf dem zweiten, an den ersten gebrachten, Leiter verbreitete E. von derselben Intensität ist, welches auch die Gestalt seiner Oberfläche sey. Aber die *explosive Distanz*, auf welche diese zwei Leiter ihre Funken schlagen, wird nach Verschiedenheit ihrer Form sehr verschieden seyn, denn die Leichtigkeit der Explosion hängt von dem Drucke ab, welchen die E. auf die umgebende

1 Vergl. *Funken*.

Luft ausübt, und durch welchen sie dieselbe auf ihrem Wege entfernt. Dieser Druck ist proportional dem Quadrate der Dichtigkeit der el. Schicht; man muſs also solche Leiter nehmen, welche, wenn sie in Berührung mit dem ersten Leiter sind, sich mit einer el. Schicht bedecken, deren Dicke die gröſstmögliche sey, verglichen mit der Dicke der el. Schicht dieses ersten Leiters; und die Theorie übereinstimmend mit der Erfahrung lehrt, daſs Cylinder von groſser Länge und kleinem Durchmesser vorzüglich geschickt dazu sind. Darüber hat Coulomb sehr genaue elektrometrische Untersuchungen angestellt[1].

An einem isolirten Cylinder, der sich in Halbkugeln endigt, und auf welchem sich die E. ohne sonstigen äuſsern Einfluſs frei ins Gleichgewicht setzen kann, verhält sich nach Coulomb's genauen elektrometrischen Untersuchungen die Dicke der el. Schicht an den Enden zu derjenigen in der Mitte wie 2,30 : 1. Es muſs aber, wenn ein solcher Cylinder mit einem elektrisirten Leiter in Verbindung gesetzt wird, diese Dicke noch mehr an dem freien Ende zunehmen, weil die Repulsivkraft der E. des hinzugekommenen Leiters die E. noch mehr nach diesem freien Ende treibt. Da ferner an einem Cylinder, dessen Durchmesser nur 1''' beträgt, bei der Berührung einer elektrisirten Kugel von 4'' die el. Dichtigkeit im Durchschnitte 9mal so groſs ist, als die der Kugel, so ist sie am freien Ende wenigstens $9 \times 2,3$ so groſs, und da die Pressionen gegen die Luft sich wie die Quadrate der Dichtigkeit verhalten, so begreift man auch, wie es aus solchen Cylindern so leicht zum Ausströmen kommt. Die cylindrischen Leiter geben daher stets die längsten Funken an ihren Enden, die kürzesten in ihrer Mitte, und die Länge der Funken wird noch sehr vergröſsert, wenn in den gröſseren Cylinder ein recht dünner, nicht über zwei Linien dicker, Draht hineingesteckt wird, der sich mit einer nicht zu kleinen Kugel endigt. Diese Einrichtung ist bei den Conductoren meiner Maschine, und derjenigen der holländischen Physiker befolgt, und bei den kugelförmigen Conductoren, wie sie an der van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine angebracht sind, wird eine gröſsere Länge des Funkens nur dadurch erhalten, daſs in die Mitte der von der Scheibe abgewandten Hälfte der Kugel ein dünner cylindrischer

1 Biot Traité de Physique etc. II. 315 ff.

Draht gesteckt ist, der sich in eine kleinere Kugel endigt. Außer diesem Momente der Gestalt des ersten und zweiten Leiters kommt es noch in Ansehung der durch eine Elektrisirmaschine hervorzubringenden Wirkungen und besonders der Stärke und Länge des Funkens vorzüglich auf die Gröſse und die von dieser Gröſse so wie zugleich von der Gestalt des Leiters abhängige Capacität desselben für die E. an. Es versteht sich nämlich von selbst, daſs bei einer ausgedehnteren Gröſse des Leiters ein gröſserer Vorrath von E. angehäuft werden kann, der sich dann auch in verhältniſsmäſsig dickern und stärkern Funken entladen läſst, welche dann wiederum im Verhältniſs der gröſseren Menge von E., die in ihnen hervorbricht, stärkere Wirkungen hervorbringen werden. Indeſs läſst sich durch die Vergröſserung eines mit dem ersten Leiter verbundenen zweiten Leiters die Wirkung der Elektrisirmaschine nicht ins Unbestimmte verstärken, da mit der Ausdehnung des Leiters sich auch die Berührungspuncte mit der Luft vermehren, womit eine verhältniſsmäſsig wachsende allmälige Zerstreuung der E. verknüpft ist, abgesehen davon, daſs auf einer sehr ausgedehnten Oberfläche sich leicht da und dort Spitzen und dergleichen Unebenheiten einfinden können, durch welche eine solche Zerstreuung der E. noch besonders begünstigt wird. Jede Elektrisirmaschine wird also nur ein gewisses Maximum der Vergröſserung ihres Leiters zulassen, über welches hinaus die Wirkung wieder abnimmt, und dieses Maximum wird um so weiter hinausfallen, je wirksamer die Elektrisirmaschine an und für sich ist. So bemerkt z. B. Grimm, daſs als an den bereits schon eine beträchtliche Ausdehnung habenden Conductor einer übrigens 5 Fuſs im Durchmesser haltenden Scheibenmaschine noch ein messingener Conductor gesetzt wurde, der einen rheinl. Fuſs dick und 10 Fuſs 2 Zoll lang war, die Maschine weniger als zuvor leistete[1]. Mit der Ausdehnung des Leiters werden dann auch die Funken gebenden Kugeln ihrer Gröſse nach im Verhältnisse stehen müssen, worüber für jede Maschine nur Versuche entscheiden können.

Bei der groſsen Teyler'schen Maschine ist die Funken gebende Kugel am Ende des groſsen, aus drei Hauptstücken bestehenden, cylindrischen Conductors von $23\frac{1}{2}$ Quadratfuſs Ober-

1 Gilb. Ann. IV. 361.

fläche nur 4zöllig, und der auffangende Leiter ist ein 22″ langer und 8″ im Durchmesser haltender Cylinder, der in 12zöllige Kugeln endigt. Bei trockener Witterung schlägt der Leiter gegen die auffangende Kugel 24″ lange Funken von der Dicke eines Federkiels 300mal in einer Minute, die sich schlängeln, und an den Krümmungen 6″ bis 8″ lange Strahlen schiefsen lassen. Ueber die Fläche eines schlechten Leiters geführt, wird der Funken 6 Fuſs lang. Gegen äuſserst scharfe stählerne Spitzen entstehen noch Funken von ¼″. Die Lichtbüschel am Ende des ersten Leiters verbreiten sich ringsum auf 16″. Ein isolirter 207 Fuſs langer Draht am Leiter ward in seiner ganzen Länge bei jedem Funken erleuchtet, und schoſs überall Lichtbüschel von 1″ aus. Der negative Funken dieser Maschine steht indeſs wegen der unvollkommenen Isolirung der Reibkissen in keinem rechten Verhältnisse mit ihrer sonstigen Wirksamkeit, da er nur 10 bis höchstens 11 Zoll beträgt. Schieſspulver, Zunder, Zündschwamm, Terpentin- und Olivenöl wurden entzündet und Streifen Goldblättchen 1,5 Lin. breit und 20″ lang geschmolzen. Ein 6 Fuſs langer leinener Faden 38 Fuſs weit vom Conductor wurde unten 6 Zoll weit von der senkrechten Lage abgezogen. Die Luft ward so stark elektrisirt, daſs die Kugeln am Cavallo'schen Elektrometer 40 Fuſs weit von der Maschine schon um ¼ aus einander gingen.

Die von Cuthbertson für die holländischen Physiker Deimann und Paets v. Troostwyk verfertigte, oben beschriebene, Maschine stand wenigstens nach einigen dieser Proben der Stärke der groſsen Teyler'schen nicht sehr viel nach, ungeachtet die beiden Scheiben mehr als noch einmal so klein waren, nämlich 31 englische Zolle im Durchmesser hielten, wovon der Grund ohne Zweifel in der vollkommeneren Isolirung aller Theile dieser Maschine lag. Um die stärksten Funken zu erhalten, wurde an die letzte Kugel, womit der groſse Leiter sich endigte, in der Entfernung von 0,5 Zoll durch einen Stift eine kleinere Kugel von 2″ Durchmesser aufgesteckt. Die Funkenlänge betrug dann gewöhnlich 11,5 Zoll, wenn der Funken mit einer zweiten Kugel von 5″ Durchmesser hervorgelockt wurde, bisweilen war er einen halben Zoll kürzer, oft auch einen Zoll länger. Er bewegte sich im Zickzack, und war, die Gröſse ausgenommen, dem der Teyler'schen Maschine ähnlich. Seine Dicke betrug ⅛ Zoll, und es schossen aus ihm häufige

Seitenstrahlen von 2 bis 4″ Länge. In Rücksicht auf diese Wirkungen ist also diese Maschine ungefähr halb so stark, als die Teyler'sche, ungeachtet ihre Oberfläche mehr als 4mal so klein ist. Der negative Funke hatte die gröfste Länge, wenn er aus einer Kugel von $\frac{3}{4}$ Zoll auf eine zwölfzöllige überging. Seine Länge betrug dann 8,5, bis höchstens 9 Zoll. In dieser Rücksicht leistete also diese Maschine verhältnifsmäfsig weit mehr als die Teyler'sche, was von der viel vollkommeneren Isolirung ihrer Reibzeuge abhing. Auf einem überfirnifsten und mit Messingfeile bestreuten Brette konnte man die Funkenweite bis auf 12 Fufs und wohl noch weiter treiben, wenn das Brett länger genommen wurde. Aufser dem Hauptstrahle selbst, der längs den Feilspähnen von der funkenschlagenden Kugel zu der gröfsern Auffangkugel in einer Menge Krümmungen überging, fuhr noch eine grofse Anzahl anderer Strahlen aus jenen aus, und diese theilten sich wieder in eine Menge kleinerer, so dafs die ganze bestreute Fläche mit Strahlen bedeckt wurde, die im Dunkeln eine artige Mischung von gelbem und grünem Lichte darstellen. Bei der negativen E. betrug die Funkenweite auf diese Art nur 6 Fufs. Auf sehr feine Stahlspitzen, die 2″ über die Kugel hervorstanden, schlug der Funken aus dem positiven Leiter $\frac{1}{4}$ Zoll, gegen die an der Endkugel des negativen Leiters selbst angebrachte Spitze aber von der genäherten Kugel aus einer Entfernung von $\frac{1}{8}$″. Die Feuerstrahlen aus dem positiven Leiter waren 4,5 Zoll lang, wenn die Spitze 3 Zoll, 7,5 Zoll lang, wenn die Spitze 2 Zoll über die Kugel am Leiter hervorstand. Dem negativen Conductor wurde die Spitze gegenüber gestellt, und die Strahlen waren in allen Fällen 6,5 Zoll lang, die Spitze mochte 2 oder 3 Zoll über ihre Kugel hervorragen. Lichtbüschel aus Kugeln entstanden durch positive und negative E., bei jener, wenn man eine zweizöllige Kugel $\frac{3}{4}$ Zoll weit von der grofsen Kugel des Conductors ansteckte, bei dieser, wenn man einer 12zölligen Kugel eine von $\frac{1}{4}$ Zoll gegenüber hielt, die mit dem ableitenden Drahte in Verbindung stand. Die positiven Büschel waren 9—10 Zoll, die negativen nur 2 Zoll lang und breit, und beide unterschieden sich von einander nur durch die Gröfse. Die Erschütterung welche der positive Funken gab, wann er mit einer grofsen Kugel in der Hand ausgezogen, und zugleich der leitende Draht mit den Füfsen berührt wurde, war so heftig, dafs genaue Beobachter sie eben so grofs schätzten, als

diejenige, die man von einer bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine geladenen Leidner Flasche von einem Quadratfuſs Belegung erhält. Die Menge der E., welche der Conductor auf dem Maximum von Ladung unter den günstigsten Umständen in einem einfachen Funken mittheilte, wurde so groſs gefunden, als diejenige, welche erfordert wird, um eine Flasche von einem Quadratfuſs Belegung bis auf den vierten Theil der stärksten Ladung, die sie noch annehmen kann, zu laden. Daſs indeſs diese Bestimmungsart nur einen unsichern Maſsstab abgeben kann, leuchtet ein, wenn man bedenkt, daſs die Stärke der Ladung einer Flasche nicht bloſs von der Gröſse ihrer Belegung, sondern auch von der Dicke des Glases, der Gröſse des unbelegten Randes und andern Zufälligkeiten mit abhängt. Indeſs giebt die Menge der Umdrehungen, welche bei verschiedenen Elektrisirmaschinen erforderlich sind, um dieselbe Flasche oder Batterie von bestimmter Gröſse der Belegung auf denselben Grad zu laden, doch immer den sichersten Maſsstab zur Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener Elektrisirmaschinen, oder der Menge der el. Materie, welche sich durch ihre Reibung entwickelt, da die Länge, Dicke und Wirksamkeit des einfachen Funkens, so wie die Länge und Breite der Feuerbüschel von andern Umständen mit abhängen, nämlich von der Gröſse und Gestalt des Conductors, der Funken gebenden Kugel, der auffangenden Kugel u. d. g. Nach jenem Maſsstabe verglich namentlich van Marum die Wirksamkeit seiner neu eingerichteten Elektrisirmaschine mit derjenigen der groſsen Teyler'schen[1] und constatirte dadurch den auſserordentlichen Vorzug der neuen Einrichtung vor der ältern. Eine Batterie von 90 Flaschen, deren jede über einen Quadratfuſs belegter Fläche enthielt, wurde durch 150 Umdrehungen der verbesserten Scheibenmaschine mit einer einfachen Scheibe von 31″ im höchsten Grade geladen, so daſs sie sich von selbst entlud. Die groſse Teyler'sche Maschine mit zwei Scheiben von 65 engl. Zollen, lud bei ihrer alten Einrichtung, ehe van Marum sie verbessert hatte, dieselbe Batterie selbst unter den vortheilhaftesten Umständen nie mit weniger als 66 Umdrehungen. Die kleine Scheibe leistete folglich $\frac{4}{9}$ und bei günstigen Umständen gewiſs $\frac{1}{2}$ so viel als die groſse Teyler'sche Maschine bei ihrer ersten

1 Vergl. Gilb. Annalen XXIII. 304.

Einrichtung. Da die Kissen der kleinen Scheibenmaschine 9″, die der grofsen 15¼″ lang sind, so beträgt die Glasfläche, welche jedes Kissen bei einmaliger Umdrehung reibt, bei der kleinen 622, bei der grofsen 2410,1 Quadratzoll, die 4 Kissen jener reiben folglich bei jeder Umdrehung 2488, die acht Kissen dieser 19283 Quadratzoll. Da nun jene 150, diese 66 Umdrehungen bedurfte, um dieselbe Batterie bis zum Ueberspringen zu laden, und die Intensität der el. Kraft zweier Maschinen der Zahl der Umdrehungen und der Gröfse der geriebenen Fläche bei Bewirkung desselben Effects umgekehrt proportional ist, so verhielt sich die Intensität der el. Kraft der kleinen Maschine zu derjenigen der Teyler'schen nach der alten Einrichtung, wie $66 \times 19283 : 150 \times 2488$ oder ungefähr wie $3,5 : 1$. Diese Bestimmung der Intensität der Erregung kann auch aus dem Verhältnisse der geriebenen und der geladenen Glasfläche abgeleitet werden, indem man aus der Zahl der Umdrehungen, der Gröfse der geriebenen Glasfläche, und der Gröfse der Batterie, die dadurch zum Maximum geladen worden ist, die Menge von geriebenen Quadratzollen oder Quadratschuhen berechnet, die erfordert werden, um einen Quadratzoll oder Quadratfufs belegter Fläche bis zum Maximum zu laden, wo denn diese Menge bei der grofsen Teyler'schen Maschine 98, bei der kleinen 28 Quadratzoll beträgt, um einen Quadratzoll gleich stark zu laden.

Die Einrichtung, welche meine grofse Scheibenmaschine besitzt, macht sie allerdings nicht so brauchbar zur Ladung von Batterien, weil die Gröfse der in einer Umdrehung geriebenen Glasfläche noch einmal so gering ist, als wenn die van Marum'sche Einrichtung mit vier Reibkissen befolgt wäre, dagegen gestattet sie die gröfstmögliche Anhäufung der E. am Conductor, wegen des gröfseren Abstandes der Reibzeuge vom Conductor, indem bei geringerer Entfernung die Entladung längs dem Glase hin nach dem Reibkissen eher eintritt, als das freiwillige Ausströmen der E. in die Luft, welches in allen Fällen die Grenze der Anhäufung bestimmt. Bei recht günstiger Witterung beträgt die, in gerader Richtung gemessene, Länge des positiven geschlängelten Funkens, welcher von der Kugel von 4″ 3‴ auf die grofse Auffangkugel von 8″ überschlägt, 18 Pariser Zoll, seine Dicke die einer dünnen Schreibfeder, und aus den Seiten fahren in der Richtung nach der Auffangkugel an mehreren Stellen Strahlen von ansehnlicher Länge. Bei noch gröfserer

Entfernung der Auffangkugel verwandelt sich der Funken in den schönsten Feuerbüschel, der sich von einem dicken kurzen Stamme bis zu einer Breite von 14″ und einer Länge von 16″ ausbreitet. Wird die kleinere Kugel von 2″ im Durchmesser der grofsen Auffangkugel gegenübergestellt, so erreicht der Funken höchstens eine Länge von 14 Zoll und verwandelt sich bei gröfserer Entfernung bereits in einen Feuerbüschel. Der Funken verursacht, wenn man mit den Füfsen auf dem nach dem Erdboden ableitenden Drahte steht, eine Erschütterung, die derjenigen einer kleinen Kleists'chen Flasche sehr nahe kommt, und durch eine Reihe von zwanzig und mehreren Personen, die sich mit den Händen anfassen, sehr fühlbar ist. Der negative Funken ist ungeachtet der so vollkommenen Isolirung des Reibzeugs doch viel kürzer, und erreicht unter den günstigsten Umständen nur eine Länge von 6 bis 7″, ist nicht geschlängelt, hat aber gleichfalls seine gröfste Länge, wenn er von einer Kugel von 4″ auf jene grofse Auffangkugel überschlägt, welches mir einen ganz entscheidenden Beweis zu geben scheint, dafs eben so gut am negativen Conductor etwas Reales durch Repulsivkraft Thätiges existirt, wie am positiven, weil, wenn in Beziehung auf den negativen Conductor die ganze Thätigkeit von dem gegenüberstehenden (durch sogenannte Vertheilung positiv gewordenen) Conductor ausginge, die längsten Funken erhalten werden mufsten, wenn der negative Conductor mit einer 8zölligen Kugel endigte, und ihm gegenüber eine vierzöllige stände. Für das Gemeingefühl ist dieser negative Funken unangenehmer, wenn gleich nicht so erschütternd, wie der positive. Mir ist keine Maschine bekannt, die im Verhältnifs ihrer Gröfse einen eben so grofsen und energischen Funken lieferte, wie die meinige. Dafs die Teyler'sche und die oben beschriebene Cuthbertsonsche in dieser Rücksicht ihr weit nachstehen, erhellet aus der Vergleichung mit den von diesen beiden Maschinen angeführten Wirkungen, auch die gröfste in Deutschland befindliche Maschine, von welcher Grimm[1] eine kurze Beschreibung geliefert hat, dem Prinzen Heinrich von Würtemberg gehörig und von dem Mechanicus Klingert in Breslau verfertigt, steht, wenn man auf ihre Gröfse Rücksicht nimmt, der meinigen bedeutend nach; denn bei einem Durch-

1 Gilb. Annalen IV. 359.

messer ihrer einfachen Scheibe von 5 vollen rheinländischen Schuhen, einer Länge jedes Reibkissens von 1′2″ und einer Breite von 3″,25 und einem Conductor, der denjenigen meiner Maschine wenigstens um das Fünffache übertrifft, gab sie doch keine längere Funken als von 18—20 Zoll von der Dicke eines mittelmäſsigen Federkiels. Das groſse Uebergewicht meiner Scheibenmaschine ist um so bemerkenswerther, da nach früheren Versuchen von van Marum[1] bei Vergleichung der groſsen Teyler'schen Maschine mit einer andern von völlig gleicher Einrichtung, deren Scheiben aber kleiner waren, die Stärke beider nicht im Verhältnisse der Gröſse ihrer Scheiben, sondern in einem merklich gröſseren fortschreitend sich zeigte.

Dieses Zunehmen der Wirksamkeit in einem höheren als bloſs dem einfachen Verhältnisse der Vergröſserung der Scheiben und die so weit getriebene Vervollkommnung ihrer Einrichtung hat den Scheibenmaschinen allmälig den Vorzug vor den Cylindermaschinen verschafft. Zur Würdigung der Stärke dieser letzteren theilte Nicholson, der, wie wir oben gesehen, sich vorzügliche Verdienste um ihre Verbesserung erworben, ähnliche Bestimmungen mit, wie sie bei den Scheibenmaschinen angewandt wurden. Mit einem im Durchmesser zwölfzölligen Cylinder und einem Reibzeuge von 7,5 Zoll gab eine 5zöllige Kugel häufige Blitze aufwärts von 14″ Länge, der 7zöllige Cylinder gab 10″,75 lange Funken, der Conductor des neunzölligen, dessen isolirender Fuſs nicht hoch genug war, schlug gegen den Tisch Funken in einer Entfernung von 14″. Eine Leidner Flasche von 350 Quadratzoll oder fast 2,5 Quadratfuſs Belegung, wurde bis zur freiwilligen Explosion geladen. Die Anzahl der Quadratfuſse von der Oberfläche des Cylinders, welche gerieben werden muſste, um diese Ladung von einem Quadratfuſse hervorzubringen, war nach diesem Versuche (nach der Anzahl der Umdrehungen und der Gröſse der reibenden Fläche des Reibkissens berechnet) zum wenigsten 18,03 und höchstens 19,34. Lichtenberg bemerkte damals[2], nach diesen Bestimmungen leiste ein gläserner Cylinder von 9″ Durchmesser mit einem Reiber von 7″,5 in der Länge gerade soviel, als van

1 S. dessen Beschreibung u. s. w. Erste Fortsetzung. Leipz. 1786.

2 Erxleben's Anfangsgründe der Naturlehre 6te Auflage 1794. Anm. z. §. 50.

Marums eigene Maschine aus zwei Scheiben von 33 Zollen, die doch fast 30mal soviel koste. Aber dieser Vorzug der Cylindermaschine verschwand allmälig, so wie die Scheibenmaschinen mehr und mehr vervollkommnet wurden. Nicholson selbst stellte später eine neue Vergleichung der Cylinder- und Scheibenmaschinen in Hinsicht auf ihre Wirksamkeit an, welche zum Vortheil der Letztern ausfiel[1]. Er glaubte nämlich aus einigen Umständen schliefsen zu können, dafs die el. Materie in einem geladenen Conductor durch unregelmäfsiges Zuströmen aus dem Cylinder in einen Zustand von Undulation versetzt werden könne, in welchem sie schneller entweicht, als wenn sie in einem mehr stetigen und regelmäfsigen Strome zugeführt wird. Wenn z. B. der Cylinder keine ganz regelmäfsige Figur hat, so drückt das Kissen an einer Seite desselben stärker als an der andern, und diese Unregelmäfsigkeit könnte noch durch andere Ursachen vermehrt werden. Diese Unregelmäfsigkeiten im Zuströmen liegen bei Cylindern mit blofsen Kurbeln weiter aus einander, als bei Cylindern mit Rädern; bei Scheibenmaschinen fehlen sie vielleicht ganz.

Die Wirkungen solcher Undulationen lassen sich, meint Nicholson nach verschiedenen Thatsachen beurtheilen: a. Ein dünner Draht, der von einer isolirten Kugel nach der Erde herabgeht, wird durch Funken positiver E., welche man auf die Kugel schlagen läfst, in seiner ganzen Länge leuchtend, während die E. durch ihn unsichtbar in den Boden strömt, wenn man die Kugel in Berührung mit dem Conductor bringt. (Der Grund dieses Unterschiedes liegt offenbar nur darin, dafs in dem zweiten Falle die E. nie eine solche Intensität erlangt, um nicht an dem Drahte vollkommen abgeleitet zu werden.) b. Eine isolirte Metallröhre an beiden Enden mit Kugeln von solcher Gröfse versehen, dafs, wenn die eine mit dem Conductor in Berührung gesetzt wird, aus der andern kein Lichtpinsel ausströmt, zeigt, wenn sie abgerückt wird, bei jedem Funken, der auf die erste Kugel fällt, einen ausströmenden Lichtpinsel an der zweiten, obschon sie in diesem Falle sicher nicht stärker als im ersten elektrisirt wird. (Hierbei kommt aber das Moment der Zeit mit in Betrachtung, da im ersten Falle die Kugel nicht in einem Augenblicke die ganze Menge von E. erhält, wie im zweiten

1 S. Gilb. XXIII. S. 300.

durch den Funken eines vorher nur erst nach einiger, wenn gleich nur sehr kurzen Zeit, auf das Maximum geladenen Conductors.) c. Eine messingene Kugel von 4″ Durchmesser, die durch einen 6″ langen Metallstab mit dem hinteren Ende des positiven Conductors verbunden war, liefs nur von Zeit zu Zeit einen Lichtpinsel ausströmen; als aber der Metallstab mit einem eben so langen Stabe aus Fichtenholz vertauscht wurde, strömten aus der Kugel unaufhörlich Lichtbüschel aus. d. Ein spitzer Draht wurde auf dem ersten Leiter einer Nairne'schen Cylindermaschine mit der Spitze aufwärts befestigt, und mit einer reinen Florentiner Flasche bedeckt, so dafs sich die Spitze in der Mitte der Flasche befand. Bei jedem positiven Funken, den man aus dem Conductor zog, zeigte sich an der Spitze das negativ el. Licht. Wurde dagegen der Versuch am negativen Conductor angestellt, so zeigte die Spitze bei jedem Funken das positiv el. Licht, so dafs die Lichtbüschel mit ihren Ramificationen das ganze Glas füllten. Es sey wahrscheinlich, meint Nicholson, dafs in diesen Versuchen das Entweichen an den Spitzen durch Undulationen veranlafst worden sey. (Gilbert meint, dieser Erfolg sey von dem Stande der Spitze auf dem Conductor und von der Vertheilung der E. in dem Conductor durch Annäherung des Funkenlockers abhängig; indefs ist diese scheinbare Umdrehung der E. des Conductors leicht daraus erklärlich, dafs durch die Spitzen jedesmal die Luft in den Flaschen, und selbst die innere Glaswand in einen mit dem Conductor gleichartigen el. Zustand versetzt wurde, der jedesmal, so wie der Conductor durch Abgeben eines Funkens seine angehäufte E. verlor, und augenblicklich wenigstens relativ auf 0 E zurückgebracht wurde, in diesem Conductor und zwar insbesondere in der zunächst gelegenen Spitze einen entgegengesetzt el. Zustand, der sich durch die entsprechende Beschaffenheit des Feuerpinsels charakterisirte, hervorbringen mufste.)

Aus einer von Nicholson mit seiner Cylindermaschine in Ansehung der Schnelligkeit der Ladung mit der kleinen van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine von 32″ angestellten Vergleichung, und weil es ihm wahrscheinlich ist, dafs wegen der nicht eintretenden Undulationen eine Scheibe Flaschen und Batterien stärker lade, bevor sie sich von selbst entladen, als Cylinder, und weil endlich Scheiben eine gröfsere reibende Fläche darbieten, schliefst Nicholson, dafs die van Marum'sche

kleine Scheibenmaschine der stärksten Cylindermaschine, die je ausgeführt worden, an stetiger Intensität der Erregung zum mindesten gleich sey, und dafs sie sie an Kraft zur Ladung weit übertreffe.

Noch mehr ist aber die Streitfrage, welcher von beiden Arten von Maschinen der Vorzug einzuräumen sey, durch Cuthbertson's und Singer's Versuche[1] ins Reine gebracht worden. Beide gaben sich vorzüglich Mühe, alle Umstände so ähnlich als möglich zu machen, um sichere Resultate zu erhalten. Zu diesen Versuchen gebrauchten sie einen Cylinder von 14 engl. Zoll Durchmesser mit Würtel, Rad und Schnur, wodurch die Geschwindigkeit gegen die Drehung durch die Kurbel vervielfacht wurde, und eine Scheibe von 24 engl. Zoll Durchmesser, welche sie mit einer Kurbel, wie gewöhnlich dreheten. Beide Maschinen waren von einem und demselben Künstler mit gleicher Sorgfalt gearbeitet. Nach mehreren Veränderungen in der Gröfse und Lage der Endkugeln gelang es endlich so ziemlich gleichförmige Resultate zu erhalten. Das mittlere Resultat aus 100 verglichenen Versuchen war, dafs diese beiden Maschinen eine ganz gleiche Kraft in Hervorbringung el. Ladung besafsen. Zur Schätzung der el. Kraft wurde eine und dieselbe belegte Glasfläche geladen, und diese Ladung durch Cuthbertson's Elektrometer und durch die Länge von Draht von gegebener Dicke, welcher durch die Entladung geschmolzen wurde, gemessen. Am entscheidendsten erheliete die gleiche Stärke beider Maschinen in Erregung von E. durch den Versuch, dafs beide Maschinen zugleich in Bewegung gesetzt, um eine Batterie zu laden, genau mit der Hälfte der Umdrehungen dasselbe als jede einzelne bei der vortheilhaftesten Wirkung leisteten. Die gröfste Weite, bis zu welcher die Scheibenmaschine Funken von ihrem Hauptconductor auf eine Kugel von 2″ schlug, war 6″,5, die Cylindermaschine gab bei Anwendung derselben Kugel Funken von 8″,5, und mit gröfseren Kugeln liefs sich der Funken bis auf eine Weite von 12″ treiben. Es ist indefs zu bemerken, dafs jene Gleichheit der Wirkung beider Maschinen in Ladung von Batterien ganz wegfällt und das Uebergewicht auf Seiten der Scheibenmaschine sich findet, wenn berücksichtigt wird,

1 Nicholson Journ. of natural Philosophy 1811. übers. XXXIX. 241.

dafs jede Umdrehung des Rades an der Cylindermaschine vier Umdrehungen desselben in sich begriff; als daher SINGER den Cylinder bei unverminderter Reibung durch eine Kurbel drehen liefs, bedurfte es der vierfachen Menge von Umdrehungen wie zuvor, um dieselbe Wirkung hervorzubringen. Auch bewies ein analoger Versuch mit der Scheibenmaschine, dafs die Menge der erregten E. und damit die Schnelligkeit der Ladung lediglich durch die Menge der Umdrehungen bestimmt wurde und dafs daher die Wirkung jeder Elektrisirmaschine durch die Beschleunigung der Umdrehung sehr verstärkt werden könne. Es wurde nämlich Rolle und Rad an die Scheibenmaschine angebracht, und es erfolgte die Entladung derselben Batterie bei derselben Belastung des Cuthbertson'schen Elektrometers mit 15 Gran: mit einer blofsen Kurbel nach 75 Umdrehungen; mit Rolle und Rad, welches die

Geschwindigkeit verzweifachte nach 42 —
— verdreifachte nach 28 —
— vervierfachte nach 19 —

Nach dieser Vergleichung räumt nun SINGER mit Recht den Scheibenmaschinen einen entschiedenen Vorzug vor den Cylindermaschinen ein und zwar bestehen ihre Vorzüge darin, dafs sie 1. minder kostbar als die Cylindermaschinen von gleicher Stärke sind; 2. dafs sie weniger Raum einnehmen; 3. dafs sie sich in viel gröfseren Dimensionen verfertigen lassen; 4. dafs es leichter ist, mehrere Scheiben als mehrere Cylinder in einen Apparat zu vereinigen; 5. dafs sich bei ihnen die Geschwindigkeit viel besser als bei den Cylindern vervielfachen läfst, ohne dafs die Bewegung zu schnell wird; 6. dafs sich mit Scheiben von gleichem Durchmesser und einerlei Glasart gleiche und ähnliche Wirkungen erhalten lassen, während zwei vollkommen gleich wirksame Cylindermaschinen wohl kaum darzustellen sind. Die zwei Vorzüge, welche SINGER den Cylindermaschinen vor den Scheibenmaschinen noch einräumt, dafs sie vollkommen isolirt werden können, und eben darum die positive und negative Wirkung in gleicher Stärke zu geben im Stande seyen, fallen weg, sobald man die van Marum'sche oder die von mir beschriebene Einrichtung befolgt.

Dafs die negative E. aller Glas-Elektrisirmaschinen in Ansehung der Länge und Dicke des Funkens schwächer als die positive ausfällt, und selbst durch die stärkste bis jetzt gebaute

Maschine, die Haarlemer keine längere Funken als von 11″ haben erregt werden können, ist bereits bemerkt worden. In dieser Hinsicht werden diese Maschinen durch die oben beschriebenen von WALKIERS merklich übertroffen. Die Commissarien der *Pariser Akademie*[1], welche diese Maschine prüften, zogen aus dem Conductor mit einer grofsen Kugel 15 bis 17 Zoll lange sehr schallende und dicke Funken, die unausstehlich schmerzhaft waren, wenn sie mit blofser Hand aufgefangen wurden, aus Spitzen sprangen merkbar Funken nach dem Leiter über, und eine Batterie von 50 Quadratfufs Belegung wurde bei 30 Umdrehungen der Maschine geladen, welche 19 Quadratfufs geriebene Fläche des Seidenzeugs auf die Ladung eines Quadratfufses belegten Glases geben würde, in welcher Hinsicht demnach diese Machine der grofsen Nicholsonschen Cylindermaschine vollkommen gleich kommt.

Was die oben beschriebene Glasglocken-Maschine betrifft, so sollte man nach den Wirkungen, welche WOLFRAM von der einzigen bis jetzt ausgeführten beschreibt, diese Gattung den wirksamsten beizählen. Es schlägt nämlich jene Maschine, deren Glocke mit Einschlufs des Halses nur eine Höhe von 20″ und einen Durchmesser von 12″ hat, unter günstigen Umständen
Fig. 51. aus l auf die Kugel n des Funkenmessers 10″ lange Funken von der Dicke eines Strohhalms, 7—8 zöllige schneller, als man zählen kann. Der Lichtbüschel ist 6—7 Zoll lang, und breitet sich unter einem Winkel von 60—70 Graden nach allen Seiten aus, eine Flasche von einem Quadratfufs äufserer Belegung wird bei 8maliger Umdrehung der Kurbel bis zum Ueberschlagen geladen. Einen besonders auffallenden Beweis der starken Elektricitätserregung durch diese Maschine gab aber der Versuch, dafs aus dem tiefer liegenden Theile einer Regenröhre, welche durch einen Draht mit dem Reibzeuge verbunden war, bei jeder Entladung des positiven Conductors schwache Funken erhalten werden konnten. Bei alle dem zweifle ich doch sehr, dafs diese Glockenmaschinen in Gebrauch kommen werden, da es sehr schwer halten dürfte, sich so regelmäfsig cylindrische Glocken zu verschaffen, dafs sie nicht in ihrem Umdrehen bedeutend schwanken, was ihre Beschädigung nur zu leicht veranlassen kann, auch ist nicht zu übersehen, dafs die Isolirung der

1 S. Mém. de Paris 1784 und in Licht. Magazin a. a. O.

Maschine unvollkommen, und die Zerstreuung der E. nach der Fassung unvermeidlich ist.

Es ist schon oben bemerkt worden, daſs man die Wirkungen einer Elektrisirmaschine, die an und für sich nicht zu den gröſseren gehört, durch die Ausdehnung des Leiters und besonders durch eine solche Einrichtung desselben, wodurch seine Capacität für E. vermehrt wird, ungemein verstärken, und die einfachen Funken dem erschütternden einer Ladungsflasche ganz gleich machen kann. Es ist in dem Artikel *Elektricität*, nachgewiesen worden, wie sehr die Capacität eines Leiters durch Verlängerung und verhältniſsmäſsige Verdünnung desselben vermehrt werden kann. Eine Verminderung des Durchmessers bis auf 6‴ veranlaſst nach Volta's Versuchen noch kein eigentliches Ausströmen[1]. Volta verfertigte sich einen solchen Leiter von 12 hölzernen, mit Stanniol überzogenen Stäben von obigem Durchmesser, so daſs er bei 96 Fuſs Länge nur 12 Quadratfuſs Oberfläche hatte, sein Umfang also nicht gröſser als derjenige eines Leiters von 6 Fuſs Länge und 8″ Durchmesser war. Die Capacität des ersteren war um soviel gröſser als die des letzteren, daſs 25 bis 30 Umdrehungen seiner Scheibenmaschine nöthig waren, um ersteren auf das Maximum zu laden, während letzterer schon durch 4—5 Umdrehungen darauf gebracht wurde. Diese groſse Länge des Conductors kann man auch in einem beschränkten Local dadurch erhalten, daſs man mehrere kurze Stäbe über einander hängt, jedoch dürfen sie nicht zu nahe seyn, sondern müssen drei bis vier Fuſs von einander abstehen; denn stehen sie einander näher, so mindern sie wechselseitig ihre Capacität, indem sie ihre Spannung steigern. Volta gab jedem seiner Stäbe eine Länge von 8 Fuſs, die in drei Vierecken geordnet und durch seidene Fäden aufgehängt, übrigens mit einander durch Stäbe von Messing verbunden waren. Die Capacität dieses so ausgedehnten Leiters fand Volta gleich der Capacität einer Flasche oder mäſsig dünnen Glasscheibe von 4 Quadratzoll Belegung. Er gab wirklich erschütternde Funken, die bis in die Brust gingen, besonders wenn man einen in einen Brunnen reichenden Eisendraht anfaſste, um der groſsen Menge von E. hinlängliche Ableitung zu verschaffen. Der Pater Gordon verstärkte auf diese Art

1 S. Alex. Volta's Schriften übers. von Nasse 1ter Bd. 1803.

durch Anwendung eines 200 Ellen langen Eisendrahtes den Funken so sehr, dafs er Vögel damit tödtete, und WILSON entzündete mit Hülfe der aufserordentlichen Verlängerung des Leiters bis auf 12000 Fufs durch den einfachen Funken einer mäfsig starken Elektrisirmaschine Schiefspulver, das sonst nur durch den Schlag einer Leidner Flasche oder durch den einfachen Funken der kräftigsten Maschine entzündet werden kann.

Indefs nimmt mit der Stärke der Funken nicht auch zugleich ihre Länge zu, die mehr von der Stärke der Spannung und Dichtigkeit der E. an dem Orte, wo der Funken hervorbricht, als von der totalen Menge der E. abhängt, auf welcher vorzüglich die sonstige Wirksamkeit des Funkens beruht. Die Funken, welche sehr lange aber dabei dünne Leiter geben, sind daher zwar sehr erschütternd, aber immer kürzer als die aus kurzen cylindrischen Leitern von gröfserem Durchmesser. So fand denn auch VAN MARUM[1] bei einem Leiter von 16 Fufs Länge und 4″ Durchmesser die Funken um 5 Zoll kürzer als bei dem gewöhnlichen (oben beschriebenen) Conductor, doch schienen sie ihm mehr Stärke zu haben.

Bei der etwas stärkeren Elektrisirmaschine darf man, wenn man das Maximum von Wirkung erhalten will, nie unterlassen, eine Ableitung durch einen nicht zu dünnen Draht nach dem feuchten Erdboden anzubringen, mit welchem man, wenn man *positiv* elektrisiren will, die Reibkissen, beim *negativen* Elektrisiren den ersten Leiter in Verbindung setzt, um im ersten Falle der durch das Reiben erzeugten negativen E. der Reibkissen, im zweiten der am Conductor sich anhäufenden positiven E. einen hinlänglichen Abflufs oder Zuflufs der entgegengesetzten E. zu verschaffen. Mit derselben Ableitung mufs auch der Leiter, auf dessen Kugel die Funken überschlagen, in Verbindung gesetzt werden, wenn man die möglich längsten Funken erhalten will. Eine wichtige Regel besteht ferner darin, die Scheibe oder den Cylinder von allem sich anhängenden Amalgama zu reinigen, das sich besonders an den Glasscheiben nach den concentrischen Ringen derselben, und bei den Cylindern an den kleinen Blättchen, die bei manchen derselben hie und da über die Oberfläche hervorragen, leicht anhängt, und zur Entladung des Conductors nach dem Reibkissen Veranlassung giebt.

1 Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795.

Bei einer so kräftigen und im höchsten Grade el. Scheibe, wie der meinigen, schlagen ununterbrochen, wenn der Funkenzieher zu weit entfernt ist, in bogenförmiger Richtung Funken nach dem Reibkissen hin, die stets schon bei einer viel geringeren Entfernung sich einfinden, wenn die Scheibe mit Amalgama verunreinigt ist.

Das *Amalgama* [1] wird am besten mit etwas Schweineschmalz oder Cacaobutter auf das Leder des Reibkissens aufgetragen, und so gleichförmig als möglich zum metallisch glänzenden Ueberzuge in dasselbe eingerieben. Die Erneuerung desselben richtet sich nach dem mehr oder weniger häufigen Gebrauche, den man von der Maschine gemacht hat [2].

P.

Elektromagnetismus,

später von den Franzosen meistens *Elektrodynamismus* genannt, bezeichnet den Inbegriff derjenigen magnetischen Erscheinungen, welche durch die Elektricität hervorgebracht werden, oder die Wechselwirkung elektrisirter Körper und der Magnete auf einander. Der zuerst gewählte Ausdruck bezeich-

---

1 S. *Amalgama* Th. I. S. 286.

2 Ueber chemische Wirkungen der einfachen Funken und ihr Verhältnifs gegen verschiedene Medien u. s. w. S. *Funken, elektrischer.*

Aufser den Schriften, welche das Ganze der E. behandeln, namentlich Priestley's Geschichte der E., Donndorf's, Adam's, Cavallo's Werken über die E. u. s. w., verdienen über Elektrisirmaschinen noch besonders verglichen zu werden: Martin van Marum Abhandlung über das Elektrisiren, enthaltend die Beschreibung und Abbildung einer neu erfundenen Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen von Möller. Gotha 1777. M. G. C. Bohnenberger's Beschreibung einer auf eine neue sehr bequeme Art eingerichteten Elektrisirmaschine Stuttgart 1784—1791. *Derselbe* Beschreibung einiger Elektrisirmachinen und elektrischer Versuche nebst sechs Fortsetzungen. Stuttgart 1783 —1791. Beschreibung einer Elektrisirmaschine und einiger damit von J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk angestellter Versuche herausgegeben von John Cuthbertson. Leipzig 1790. Martinus van Marum Tweede Vervolg der Proefnemingen etc. Haarlem 1795. (enthält die Beschreibung seiner verbesserten Elektrisirmaschine). Joh. Christ. Hoffmann praktische und gründliche Anleitung auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen u. s. w. Leipzig 1798.

net die Sache genau und vollständig; der spätere, nämlich *dynamische Elektricität*, welcher von AMPÈRE den Wirkungen der geschlossenen Volta'schen Säule beigelegt ist, um sie von denen der nicht geschlossenen, daher Funken gebenden, und denen einer gemeinen Elektrisirmaschine sich ähnlicher zeigenden, zu unterscheiden, als welchen er den Namen der *elektrostatischen* beilegt, hat in sich gar keinen empfehlenden Grund. Auch die Ausdrücke: *chemischer Magnetismus*, *Volta'scher Magnetismus* und *Galvanomagnetismus* bezeichnen die Sache ungleich schlechter.

I. Geschichte des Elektromagnetismus.

Seitdem die Anhänger der dynamischen Naturphilosophie sich bestrebten, die verschiedenen Naturerscheinungen nicht sowohl als Wirkungen individueller Substanzen anzusehen, sondern vielmehr das Materielle selbst als das Resultat gewisser Urkräfte darzustellen, mufste ihnen vorzüglich daran gelegen seyn, die unwägbaren Stoffe als unmittelbare, und nur unwesentlich modificirte, Aeufserungen einer einzigen Urkraft nachzuweisen. Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus fielen demnach ihrem Wesen nach in eins zusammen. Als insbesondere ALEXANDER VOLTA in der nach ihm benannten elektrischen Säule die gelehrte Welt mit einem unschätzbaren Apparate beschenkte, welcher an seinen beiden Enden die zwei Elektricitäten bleibend erhielt, glaubte man in dieser die Pole eines Magnetes sichtbar dargestellt, und hielt die Identität der Elektricität und des Magnetismus für begründet, welche als ähnlich zu betrachten schon die frühere Bezeichnung von + und — M., ähnlich dem + und — E veranlafst hatte. Insbesondere war es J. W. RITTER[1], welcher den Satz aufstellte, jede Volta'sche Säule sey ein wirklicher Magnet, und müsse als solcher auch magnetische Polarität zeigen. Verschiedene Physiker zeigten zwar durch die Erfahrung, dafs eine solche Wirkungsart der Volta'schen Säule fremd sey, allein RITTER's hoher Schwung der Phantasie erhielt ihm eine Menge Anhänger und Verehrer da es allerdings viel leichter ist zu phantasiren als zu philosophiren. Ich selbst habe in Verbindung mit GRUNER in Hannover damals viele Mühe darauf verwandt, durch ungewöhnlich

1 Beiträge zum Galvanismus II. 55. Ann. de Chim. LXIV. 80.

starke magnetische Batterien eine der Volta'schen Säule ähnliche Wirkung hervorzubringen, oder ganz kleine und möglichst bewegliche Säulen durch jene zu afficiren, aber vergebens. Hätte man umgekehrt den Einfluſs groſser Säulen auf leicht bewegliche Magnetnadeln geprüft, so wäre die Wahrheit vielleicht früher aufgefunden. Daſs es übrigens unmittelbar vor der Auffindung des Elektromagnetismus noch Physiker gab, welche die durch Ritter behauptete Identität der Elektricität mit dem Magnetismus vertheidigten, beweiset unter andern die gegen das Ende des Jahres 1818 durch v. Yelin über diesen Satz gehaltene Rede[1], worin aber, auſser schwachen, wenn man wollte zwischen jedem beliebigen Paare gegebener Stoffe aufzufindenden, Analogieen kein genügender Beweis, auch keine neue Thatsache zur Unterstützung der aufgestellten Behauptung beigebracht ist. Man kann daher mit Wahrheit sagen, daſs man bis zu jener Zeit von einer Wechselwirkung beider Potenzen auf einander noch nicht mehr wuſste, als schon seit vielen Jahren bekannt war, nämlich daſs insbesondere Blitzschläge, aber auch starke elektrische Batteriefunken den Magnetismus im Stahle sowohl hervorzurufen, als auch zu zerstören, die Polarität zu erzeugen, und umzukehren vermögen[2], welches indeſs nach den entscheidenden Versuchen van Marum's für eine bloſse Wirkung des Stoſses und der Erschütterung durch Elektricität angesehen wurde[3]. Wenn endlich nicht sowohl Mojon aus Genf, als vielmehr Romanesi aus Trident zufällig elektromagnetische Erscheinungen wirklich beobachtet haben, so ist dennoch keineswegs einer von diesen als der Entdecker dieses wichtigen Zweiges der Naturlehre zu betrachten, weil sie die Neuheit und

---

1 Ueber Magnetismus und Elektricität als identische und Urkräfte. München 1818. 4. Genau genommen könnten wohl beide, wenn sie wirklich identisch wären, nicht Urkräfte, sondern nur *eine* Urkraft seyn.

2 Mehreres hierüber von Schweigger findet man in dessen Journ. N. R. XVI. 1. Beccaria leitete sogar schon den Magnetismus überhaupt, wie Ampère, von beständigen elektrischen Strömungen ab. S. Priestley Gesch. d. El. S. 221. Cigna in Misc. Taur. I. 43. redet gleichfalls von d. Aehnlichkeit der Elektricität und des Magnetismus.

3 Beschreibung einer vorzüglich groſsen Elektrisirmaschine u. s. w. Deutsche Uebers. Leipz. 1786.

Wichtigkeit des Fundes übersahen, und diesen also selbst nicht kannten und gehörig würdigten[1].

Aus demjenigen also, was bis dahin bekannt war, konnten unmöglich die später entdeckten Erscheinungen des Elektromagnetismus gefolgert werden, im Gegentheil ist vielmehr jetzt, nach so außerordentlich verfeinerten und vervollkommneten Meßwerkzeugen, so gut als erwiesen, daſs die Volta'sche Säule weder selbst ein Magnet ist, noch auch daſs ihre Pole magnetische sind. Dessen ungeachtet hielten allezeit noch einige Physiker fest an dem durch Thatsachen keineswegs begründeten Glauben, Elektricität und Magnetismus seyen ihrem Wesen nach identisch. Ein Anhänger dieser früher[2] von ihm ernstlich vertheidigten Meinung blieb auch später noch Oersted, und bemühete sich daher in seinen Vorlesungen einen Einfluſs der Pole einer Volta'schen Säule auf die Pole der Magnetnadel darzuthun, welches aber stets vergeblich seyn muſste. Eine solche magnetische Polarität konnte die Säule nur zeigen, wenn ihre Pole nicht geschlossen oder wenn sie durch einen leitenden Verbindungsdraht geschlossen waren; daſs aber der letztere selbst einen Einfluſs auf die Magnetnadel äuſsern solle, konnte aus den damals herrschenden Ansichten nicht gefolgert werden, indem man sonst bei der erwiesenen Identität der Reibungs- und Berührungs-Elektricität auch dem Verbindungsdrahte beider Pole einer Leidner Flasche Polarität zugeschrieben hätte. Man muſs es daher unter Voraussetzung einer consequenten Argumentation für einen Zufall erklären, welcher Oersted auf eine der wichtigsten Entdeckungen im Gebiete der Naturlehre führte, die aber nichts destoweniger seinen Namen unsterblich machen wird. Als nämlich im Winter 1819 auf 20 in seinen Vorlesungen ein feiner Platindraht, welcher beide Pole einer starken Volta'schen Säule verband, und dadurch glühend gemacht war, über eine Magnetnadel herging, zeigte diese eigenthümliche Schwankungen, und muſste in diesem ihrem Verhalten räthselhaft erscheinen, weil man nach den bestehenden Kenntnissen nur Anziehung oder Abstoſsung derselben erwarten konnte. Wenn Oersted später[3] darzuthun

1 Traité sur le Galvanisme publié par le Prof. Aldini. à Par. 1804. S. 191. Vergl. G. LXVIII. 208.

2 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berlin 1812.

3 Schweigg. Journ. N. F. II. 199.

suchte, dafs das Bestreben, den Einflufs beider Elektricitäten im Augenblicke ihrer Ausgleichung auf die Magnetnadel aufzufinden, ihn unmittelbar auf diese Entdeckung geführt habe, so kann hierbei nur von der magnetischen Polarität der Pole einer geschlossenen Säule die Rede seyn. Es scheint auch fast, als ob weder Oersted selbst, noch seine Zuhörer die Wichtigkeit der merkwürdigen Entdeckung sogleich in ihrem ganzen Umfange aufgefafst haben, weil es sonst unerklärlich seyn würde, warum nicht früher etwas davon ins Publicum kam, als bis der Erfinder selbst sie etwa sechs Monate später in einer eigenen Schrift bekannt machte[1].

Als am Ende des Sommers 1820 die grofse Entdeckung hauptsächlich zuerst den Akademien und gelehrten Gesellschaften bekannt wurde, dauerte es noch einige Zeit, bis sie ganz eigentlich ins Publicum kam.

Hierzu lag die Veranlassung theils in der ursprünglichen, etwas schwerfälligen und verworrenen, Darstellung der Sache, hauptsächlich aber darin, dafs der Erfinder selbst und die ersten Physiker, welche die Versuche wiederholten, zum Gelingen derselben eine so starke Volta'sche Säule verlangten, dafs der Verbindungsdraht zum Glühen gebracht wurde. Auffallend bleibt es immer, warum Oersted in dem langen Zeitraume, von der ersten Entdeckung bis zum Erscheinen seiner Schrift, nicht auffand, dafs zwei nur mäfsig grofse Platten von Zink und Kupfer die Wirkung nicht blofs gleichfalls, sondern sogar noch besser zeigen, als starke Volta'sche Säulen von vielen Platten. Die Forderung eines so mächtigen Apparates hielt manche Physiker ab, die Versuche zu wiederholen, einige zogen sogar die Sache in Zweifel, weil sie glaubten, dafs der starke elektrische Strom wohl gewisse Schwankungen der Nadel als eines leicht beweglichen Körpers erzeugt haben könne, die man fälschlich einem erregten Magnetismus beigemessen habe. Die ersten, welche die Sache selbst bestätigten, und die Aufmerksamkeit der Physiker rege machten, waren J. T. Mayer,

---

1 Experimenta circa effiaciam conflictus electrici in acum magneticam. *Hafniae* 21. Jul. 1820. Vergl. C. H. Pfaff der Elektro-Magnetismus, eine historisch-kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen auf dem Gebiete desselben, nebst eigenthümlichen Versuchen. Hamb. 1824. 8.

durch eine Anzeige der Oersted'schen Schrift[1] mit dem Zusatze, daſs auch ihm die wiederholten Versuche gelungen seyen, und DE LA RIVE, welchem es gleichfalls gelang, in Gegenwart ARAGO's und mehrerer Gelehrten das merkwürdige Phänomen wahrzunehmen[2]. Kaum waren aber diese Nachrichten ins Publicum gekommen, als nicht bloſs alle Physiker, sondern auch eine Menge Naturforscher, Aerzte, Dilettanten und sogar solche, welchen wissenschaftliche Forschungen übrigens fremd zu seyn pflegen, sich mit einer unerhörten Leidenschaftlichkeit der neuen Entdeckung bemächtigten. Man kann den damaligen allgemein erregten Enthusiasmus füglich demjenigen vergleichen, welcher sich äuſserte, als die ersten aërostatischen Maschinen ein bis dahin für unmöglich gehaltenes Problem löseten, mit dem einzigen Unterschiede, daſs zu jener Zeit selbst Könige, Fürsten, Provincialstände und städtische Corporationen jene nicht selten halsbrechenden Schauspiele freigebigst unterstützten und durch Aeuſserungen ihres Beifalls beförderten. Indeſs haben sowohl einzelne Gelehrte als insbesondere die gelehrten Gesellschaften sich wetteifernd bestrebt, dem berühmten Erfinder ihre Achtung und ihren Dank für seine höchst merkwürdige Entdeckung auszudrücken. Die Ursache einer so allgemeinen Theilnahme lag wohl hauptsächlich darin, daſs die räthselhafte Potenz des Magnetismus, welche zum Ueberdruſs forschender Physiker allezeit ganz isolirt und gleichsam bloſs an das starre Eisen gebunden da gestanden hatte, jetzt auf einmal mit einer der allgemeinst verbreiteten Potenzen in Verbindung trat, theils an dem Imposanten einer merkwürdigen Thatsache, welche nach ermüdenden Speculationen, namentlich in Deutschland, jetzt plötzlich in ihrer ganzen Wichtigkeit hervortrat, theils endlich in der Leichtigkeit, womit sich diese merkwürdigen Erscheinungen hervorrufen lieſsen, und der Kleinheit der hierzu erforderlichen Apparate. Sobald nämlich mehrere Physiker die Versuche zu wiederholen angefangen hatten, entdeckten sie allgemein, daſs man hinlänglich starke Abweichungen der Nadel schon mit Platten von 3 bis 4 Zoll Seite hervorbringen könne, und noch obendrein stärkere, als mit vielplattigen Säulen von kleinerem Durchmesser. BOECKMANN unter andern mühete sich vergebens ab,

1 Gött. Gel. Anz. 1820. N. 171.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

mit einer Säule von 200 Doppelplatten von der Gröſse eines Laubthalers die angekündigten Phänomene hervorzubringen, bis er am folgenden Tage durch weit geringere Mittel zum Ziele kam, und ich selbst brachte es endlich dahin, eine Säule von 106 Doppelplatten, gröſstentheils 6 Z. Seite haltend, aufzubauen, um ja des als Bedingung des Gelingens angegebenen Glühens des Platindrahtes versichert zu seyn, fand aber beim Auseinandernehmen der groſsen Säule, daſs die Wirkung bis auf 5 Plattenpaare herab nicht abnahm, und sah am folgenden Tage die Schwingungen der Nadel durch zwei der gebrauchten Platten sehr auffallend hervorgebracht. Von nun an machten in den Jahren 1821, 22 und bis in 23 hinein die Versuche und Theorien über den Elektromagnetismus den Hauptinhalt der physikalischen Zeitschriften aus, der vielen einzeln erschienenen Abhandlungen nicht zu gedenken; die Geschichte kann die verschiedenen Erweiterungen der ursprünglichen Entdeckung nicht einzeln verfolgen, da sie ohnehin bei der Erklärung der Sache selbst kurz erwähnt werden müssen. Nur zwei Entdeckungen verdienen wegen ihrer Wichtigkeit besonders genannt zu werden, nämlich die durch Arago und v. Yelin gleichzeitig gemachte, daſs unter geeigneten Umständen ein Leitungsdraht der Reibungselektricität gleiche Wirkungen auf unmagnetischen Stahl äuſsert, als der Verbindungsdraht beider Pole einer Volta'chen Säule; und die zweite von Schweigger und Poggendorf kurz nach einander aufgefundene leichte Isolirung des elektrischen Stromes im leitenden Drahte bei nicht stattfindender Isolirung seines erregten Magnetismus, wonach mehrere Drähte vereinigt werden können, um die Wirkung zu verstärken, was dann den elektromagnetischen *Multiplicator* hervorrief [1].

II. Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus.

Das schon erwähnte lebhafte Interesse, womit Oersted's Entdeckung allgemein aufgefaſst wurde, die häufigen Wiederholungen des anfänglichen Hauptversuches nebst dem Bestreben, das eigentliche Wesen dieser Sache zu ergründen und die Erfindung wo möglich zu erweitern, haben in einem kurzen Zeit-

1 Vergl. Historical sketch of Electro-magnetism. in Ann. of Phil. New Ser. II. 195. 274. III. 107.

raume die elekttomagnetischen Erscheinungen und die Apparate, womit diese hervorgebracht werden, so über alle Vorstellung vervielfältigt, dafs es in der That schon jetzt schwierig ist, das Ganze zu übersehen, ohne sich in der Menge der Thatsachen bei der vielfachen Gestaltung derselben zu verwirren. Indem aber viele der beobachteten Phänomene nur in aufserwesentlichen Puncten von einander abweichen, die Apparate vielfach nur unbedeutend abgeändert sind, zur leichteren Uebersicht des Ganzen aber wesentlich erforderlich ist, die hauptsächlichen Erscheinungen in einer gewissen Ordnung zusammenzustellen, so wird es am zweckmäfsigsten seyn, die Zeitfolge der allmäligen Entdeckungen zu verlassen, dagegen aber die ähnlichen Phänomene zusammenzustellen, und zugleich die zu ihrer Erzeugung erforderlichen zweckmäfsigsten Apparate zu beschreiben. Hierbei ist aber nothwendig zuerst Folgendes im Allgemeinen vorauszuschicken.

Die zahlreichen elektrischen Apparate, wodurch der Magnetismus in den verschiedenen leitenden Körpern hervorgerufen wird, und dann auf den Magnet oder blofses Eisen wirkt, und zugleich auch dem Einflusse des Erdmagnetismus unterliegt, sind am gehörigen Orte beschrieben, und müssen daher hier übergangen werden[1]. Im Allgemeinen gehören dazu die gemeine Elektrisirmaschine und die Leidner Flasche, dann aber hauptsächlich die verschiedenen Arten der Volta'schen Säulen. Die letzteren lassen sich füglich unter zwei Hauptclassen ordnen, deren eine aus zwei getrennten Metallen besteht, welche durch einen metallenen Leiter verbunden ihre ungleiche elektrische Spannung vermittelst eines feuchten Leiters ausgleichen. Zu den Metallen wählt man in der Regel Kupfer und Zink, worauf ich mich für den vorliegenden Zweck allein beschränken kann; die einer näheren Untersuchung bedürfenden feuchten Leiter sind entweder in einer stark damit getränkten Tuch- oder Pappscheibe enthalten, oder befinden sich frei in einem Gefäfse. Die andere Classe bilden alle diejenigen Apparate, welche aus mehreren, paarweise verbundenen, und durch feuchte Leiter auf einander einwirkenden heterogenen Metallen bestehen. Hierunter gehören die gemeinen stehenden oder liegenden Säulen, die verschiedenen Trogapparate, Becherapparate u. dgl. Es ist

1 S. *Galvanismus*, *Elektrisirmaschine* u. s. w.

zwar hier nicht der Ort, die Wirkungen dieser beiden Arten mit einander in jeder Hinsicht zu vergleichen, noch weniger kann die individuelle Art der Erregung der Elektricität durch dieselben hier erörtert werden, oder die schwierige Frage, ob man den Erscheinungen gemäſs nur eine oder zwei verschiedene Elektricitäten anzunehmen habe; inzwischen hat eben der Elektromagnetismus einen wesentlichen Unterschied jener verschiedenen Apparate erst recht augenfällig gemacht, welcher von manchen bei ihren Versuchen nicht beachtet war, und daher vielfache Verwirrung rücksichtlich derjenigen Richtung hervorbrachte, welche die Magnetnadel entweder östlich oder westlich abweichend gezeigt haben sollte[1]. Um daher ähnlichen Miſsverständnissen zu begegnen, ist es nothwendig, einige wesentliche Bestimmungen über diejenigen Vorstellungen vorausgehen zu lassen, welche man rücksichtlich der Erregung der Elektricität durch Berührung oder den Conflict heterogener Metalle bisher angenommen hat.

Wenn ein Volta'scher Apparat aus zwei heterogenen Metallen und einem flüssigen Zwischenmittel besteht, und man zugleich mit Franklin und Volta nur *eine* elektrische Materie annimmt, so strömt die Elektricität von dem minder elektrischen durch eine vollkommene metallische Leitung zu dem mehr elektrischen, und gleicht sich durch das flüssige Medium wieder aus. Sind daher die beiden Metalle z. B. *Kupfer* und *Zink*, welche rücksichtlich ihrer elektrischen Disposition weit von einander abstehen, werden sie durch einen Metalldraht innig mit einander verbunden, und durch eine nasse Tuchscheibe von einander getrennt, so theilt das minder elektrisch disponirte Kupfer seine Elektricität durch den leitenden Draht dem Zinke mit, welcher sie durch die nasse Tuchscheibe oder die trennende Flüssigkeit dem Kupfer wieder zuführt. Ohne die Richtigkeit dieser Vorstellung Volta's hier prüfen zu wollen, ist es offenbar, daſs hiernach ein beständiger Strom der Elektricität vom Kupfer zum Zinke hin statt finden muſs, und der Draht, durch welchen die Leitung dieses Stromes geht, äuſsert dann die nachher zu erwähnenden magnetischen Wirkungen. Sind dagegen mehrere Plattenpaare heterogener Metalle mit einander verbunden, oder ist eine Säule so angeordnet, daſs Kupfer, Zink,

1 Gilb. Ann. LXVI. 348.

feuchter Leiter; K. Z.; F....... in dieser fortgehenden Reihenfolge mit einander verbunden werden, so geht allerdings gleichfalls sowohl bei der ersten, als auch der zweiten und jeder folgenden dieser Verbindungen die Elektricität vom Kupfer zum Zink über, und theilt sich dann so verstärkt durch den feuchten Leiter jedem folgenden Paare mit. Allein eben hierdurch muſs das Kupfer des ersten Paares am stärksten negativ, das Zink des letzten dagegen am stärksten positiv elektrisch werden, und ein diese beiden verbindender metallischer Leiter wird sonach die Elektricität vom letzten Zinke dem ersten Kupfer wieder zuführen. Hierbei ist also die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, und die Wirkungen auf den Magnet sind daher rücksichtlich der erzeugten Ablenkung die entgegengesetzten der vorigen.

Die beiden so eben beschriebenen Apparate bieten übrigens auſser der Richtung des elektrischen Stromes noch eine längst bekannte wesentliche Verschiedenheit dar. Indem nämlich die *Menge* der Elektricität, welche von einer Kupferplatte zu einer Zinkplatte übergeht, der Gröſse derselben proportional seyn muſs, so scheint es, als käme man bei den aus einem Paare Metallplatten bestehenden Apparaten sehr bald an die Grenze der möglicher Weise hervorzubringenden Elektricität, indem eine einzelne Platte nicht füglich übermäſsig groſs seyn kann. Allein man hat Mittel gefunden, auch auf diese Weise mächtige Wirkungen hervorzubringen, indem man mehrere Zinkplatten und mehrere Kupferplatten durch metallische Leiter mit einander verbindet, die so vereinigten aber insgesammt, jede einzeln, von einander durch einen feuchten Leiter trennt, so daſs also die sämmtlichen Zinkplatten als eine einzige, und die sämmtlichen Kupferplatten wieder als eine einzige wirken, folglich auch ein Metalldraht einen starken elektrischen Strom vom Kupfer zum Zink überführen muſs. Die Zahl der Plattenpaare bei der anderen Art von Apparpaten kann leicht willkürlich vermehrt werden, und man hat daher auf diese Weise wahrhaft riesenmäſsige Säulen zu Stande gebracht. Allein die *Menge* der Elektricität eines ersten Plattenpaares ist eine gegebene, und wird durch ein folgendes nicht verdoppelt, bei schlechter Leitung des feuchten Zwischenmittels oder bei trockenen Säulen gar nicht vermehrt, wohl aber wird die *Spannung* derselben verdoppelt, und so bei jedem folgenden um eine gleiche Gröſs

verstärkt. Indem hiernach also die Wirkungen beider im Allgemeinen verschieden seyn müssen, so sind sie es auch vorzüglich in Beziehung auf die Hervorbringung des Magnetismus, und zwar in der Art, dafs die *Stärke des erzeugten Magnetismus* der *Menge der Elektricität*, nicht aber der *Spannung derselben* proportional ist. Hierin liegt der Grund, weswegen anfangs mehrere Physiker mit vielplattigen Säulen nur eine geringe Schwankung der Nadel erhielten. Bei der Anwendung von zwei gröfseren, 4 bis 8 Zoll Seite haltenden Platten aber sofort die Magnetnadel stark abweichen, und sogar in einem ganzen Kreise umlaufen sahen. Schweigger[1] war wohl der erste, welcher dieses bekannt machte, bald aber wurde es durch verschiedene andere Gelehrte bestätigt und genauer bestimmt. Von Yelin, als einer der ersten und eifrigsten Forscher im Gebiete des Elektromagnetismus, fand, dafs eine Säule von 50 Plattenpaaren keine merklich gröfsere Elongation gab als eine von 10 Paaren, dafs dagegen bei *einem* Paare Metallplatten die Wirkung ihrer Gröfse fast direct proportional sey[2]. Zambonische Säulen dagegen von 5500 und 11000 Scheiben, deren Durchmesser 8 Lin. betrug, hatten auf die Magnetnadel gar keinen Effect[3]; eine nachher vielfach bestätigte Erfahrung[4], welche daher berechtigt, die trocknen Säulen von der Untersuchung der gewöhnlichen elektromagnetischen Erscheinungen ganz auszuschliefsen. Unter die entscheidenden Versuche über diesen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus gehören die von G. G. Schmidt[5]. Dieser nahm 3 kupferne Kasten, 5 Z. ins Gevierte und 1 Z. weit, jeden mit einer darin hängenden Zinkplatte, füllte sie mit im Verhältnifs von 60 : 1 verdünnter Schwefelsäure, verband die gleichartigen Metalle mit einander, und erhielt auf diese Weise mit 3 Kästen 50°; mit zwei Kästen 31° und mit einem 17° Abweichung der Magnetnadel, dagegen gaben alle drei als 3 Metallpaare wirkend nur 18° bis 20°. Aehnliche Resultate

---

1 Gött. Gel. Anz. 1820. St. 171. S. 1710. Dessen Journ. N. F. I. 1.

2 G. LXVI. 397.

3 G. LXVI. 324.

4 Bechstein's Säule, aus 20000 sechszehn quadratzölligen Scheiben bestehend, zeigte gleichfalls keine Wirkung. S. G. LXVII. 381. Vergl. Erman ebend. 422.

5 G. LXX. 230.

erhielten C. SCHRADER[1], C. H. PFAFF[2], DAVY[3] und viele andere. Nach den Versuchen von VAN BEEK[4] wirkte ein Wollaston'scher Trogapparat von 120 Plattenpaaren, dessen Zink eine Oberfläche von 11 Quadratfuſs darbot, und welcher die Kohle mit groſsem Glanze verbrannte, nicht so stark auf die Magnetnadel, als ein einziges solches Plattenpaar, dessen Zink ungefähr 3,5 Quadratf. Oberfläche hatte. Als man aber von dem Trogapparate nur so viele Paare auf die Magnetnadel wirken lieſs, daſs der Zink mit dem einen Plattenpaare eine gleiche Oberfläche hatte, gaben diese nur 12° Abweichung derselben, statt daſs jenes 60° gegeben hatte.

Nach solchen entscheidenden Thatsachen wird man schwerlich geneigt seyn, die verschiedenen mehrplattigen Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus zu benutzen, und man hat auch bald angefangen, sie von dieser Benutzung auszuschlieſsen. Aber auch die aus einem einzigen Plattenpaare bestehenden Apparate sind ziemlich vielfach, und es wird daher genügen, die hauptsächlichsten derselben kurz zu beschreiben.

A. Elektromotore.

1. Der einfachste Apparat, dessen man sich zur Hervorbringung einer groſsen Zahl elektromagnetrischer Erscheinungen bedienen kann, besteht aus zwei gleichgroſsen Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, jede mit einem aufgelötheten Messingdrahte von mehreren Fuſsen Länge. Man legt die eine Scheibe flach auf eine Glasscheibe, einen gläsernen Teller, ein Weinglas oder eine sonstige isolirende Unterlage ohne ängstliche Sorge für eine nicht wesentliche vollständige Isolirung, bedeckt sie mit einer mit der leitenden Flüssigkeit stark getränkten Tuchscheibe, und legt die andere Platte darauf. Nach Erfordern wird dann durch einen oder durch beide Drähte die Verbindung zwischen beiden Platten hergestellt. Bedient man sich groſser Platten, welche man von einem Quadratfuſs Flächeninhalt jedes Metalles bis zu 4 auch wohl 9 und noch mehreren Quadratfuſsen

1 Diss. inaug. medico-physica de Electro-Magnetismo. Halae 1821. p. 26.

2 Der Elektromagnetismus S. 111.

3 G. LXXI. 231.

4 G. LXIX. 200.

in Anwendung bringen kann, benetzt die Tuchscheibe etwas stark und belegt die obere Platte mit verhältnifsmäfsig vielen Gewichten, so erhält man einen vorzüglich starken Apparat, welchem ich vor allen andern den Vorzug geben möchte. Nachtheilig ist, dafs die Metalle während der ganzen Dauer der Versuche im Conflicte bleiben, und daher stark angegriffen werden. Wenigstens ist dieses beim Zinke der Fall.

2. Gleich bequem, hinlänglich wirksam und für viele Fälle passend sind die schon oben erwähnten kupfernen Kasten nach Wollaston, deren Form im Allgemeinen ähnlich bleibt, während ihre Gröfse vom kleinsten bis zum gröfsten zunehmen kann. Gewöhnlich macht man sie von Kupfer, etwa 6 Z. ins Gevierte, oder 6 Par. Z. lang, 5 Z. hoch und 1 Z. tief, welche mit der leitenden Flüssigkeit gefüllt werden, worin dann die etwas weniger lange Zinkplatte so getaucht wird, dafs sie den Boden nicht berührt. Man kann diese Kasten mit dem Schnellothe der Klempner oder auch hart löthen; Letzteres ist nothwendig, wenn man sich der Salmiakauflösung als leitender Flüssigkeit bedient, indem diese sonst das Schnellloth zerstört. Zum festen Stande derselben kann man ihnen irgend einen Fufs geben, auch ist es rathsam, an den Seiten derselben zwei geeignete Träger mit Gabeln anzubringen, die Zinkscheibe an zwei messingenen Haken über eine Glasröhre zu hängen, und letztere so in die Gabeln zu legen, dafs die Feuchtigkeit von der aus dem Kasten gehobenen Zinkplatte in den Kasten wieder zurückläuft. Dieses gewährt den Vortheil, dafs die Zinkplatte nicht zu sehr zerfressen wird, die anhaltende Gasentwickelung weniger beschwert, und man auf beliebig lange oder kurze Zeit die galvanische Verbindung herstellen oder trennen kann. An die eine Seite des kupfernen Kastens wird das eine Ende eines Drahtes gelöthet, dessen anderes Ende an das obere Eck der Zinkplatte gelöthet ist. Hängt dann die Platte an der Glasröhre in den Gabeln, so ist die galvanische Kette geöffnet, wird aber geschlossen, wenn man sie in die Flüssigkeit des Kastens senkt, und auf den Rändern des letzteren an der tragenden Glasröhre isolirt ruhen läfst. Solcher Kasten lassen sich mehrere mit einander vereinigen, wenn man das Kupfer derselben unter sich und eben so die Zinkplatten unter sich durch metallische Leitung verbindet, wonach also jene mit diesen zusammen nur zwei Elemente bilden. Diese Kasten sind ferner geeignet, um

sehr große Apparate zu entscheidenden Versuchen zu erhalten. Sie lassen sich nämlich leicht in solcher Größe verfertigen, daß jede einzelne Zinkplatte 6 Par. Quadratfuß hält, und wollte man 12 solcher Kasten vereinigen, so gäbe dieses 72 Quadratfuß Zink, eine gewiß ins Ungeheure gehende Batterie. In diesem Falle müssen aber die zwei bis drittehalb Zoll weiten Kasten unten eine Röhre haben, um die Flüssigkeit abzulassen, wenn man das Ausfüllen mit einem Heber nicht vorzieht, die Zinkplatten aber müssen an einem hölzernen Rahmen befestigt seyn, und vermittelst zwei oder mehrerer Seile, welche über Rollen gehen, durch Gegengewichte balancirt werden, um sie bequemer herauszuheben und schnell durch Herablassen derselben die galvanische Kette zu schließen. Die geeignetste Flüssigkeit für diese Apparate ist verdünnte Schwefelsäure, weil durch diese die Kupferflächen am wenigsten beschmutzt werden, und man zu ihrer Reinigung bloß des Ausspülens mit reinem Wasser bedarf, die Zinkplatten aber gar keine Reinigung erfordern, außer daß es gut ist, sie einigemale in das zum Ausspülen der Kasten in diese gegossene Wasser zu tauchen. Bei einem neuen Versuche weicht die Säure den erzeugten Schmutz sehr bald wieder auf, ohne daß man eine merkliche Verminderung der Wirkung wahrnimmt.

3. Die eben beschriebenen Kasten sind theuer, wenn man sie hart löthen läßt, bei der Löthung mit Zinn kann auf die Dauer keine Salmiakauflösung angewandt werden, wie oben schon erwähnt ist, die Schwefelsäure erzeugt aber bei großen Apparaten eine solche Menge von Zinkhaltigem Wasserstoffgas, daß es nicht bloß gefährlich, sondern selbst unmöglich ist, dabei auszudauern[1]. Man muß diesem daher, wenn man im Großen arbeiten will, einen Abzug durch eine Art von Schornstein verschaffen, und außerdem den elektromotorischen Apparat in einem besondern Zimmer aufstellen. Ein großer, leicht zu handhabender, für jede Art von Flüssigkeit geeigneter und doch leicht aufzubewahrender Apparat ist folgender. Man nimmt eine bloße Kupferplatte, welche von 1 bis 9 Quadratfuß Fläche und noch darüber leicht zu erhalten ist, läßt diese spannen und ihren Rand nach Verhältniß ihrer Größe 0,75 bis 2 Zoll hoch aufbiegen, legt sie auf einen hölzernen Rahmen

1 Vergl. unten: *feuchte Leiter.*

oder eine Tischplatte horizontal, in dieselbe eine erforderliche Zahl Glasstücke und auf diese die Zinkplatte gleichfalls horizontal, gieſst dann die Flüssigkeit hinein, uud verbindet beide Metalle durch einen Leitungsdraht. Ist der Apparat sehr groſs, so muſs die Zinkplatte durch das Aufbiegen ihres Randes in der Höhe von etwa 0,5 Zoll gesteift, und mit zwei Handhaben versehen seyn, um sie bequem aufheben und niederlegen zu können. Man stellt dann an die zwei Ecken der Kupferplatte zwei hölzerne Böcke, einige Zolle höher als die Kupferplatte und mit einer Gabel oder nur einem Ausschnitte versehen, legt parallel mit der Seite der Kupferplatte eine hinlänglich starke Glasröhre hinein, stellt zwei ähnliche, nur 0,5 Z. niedrigere Böcke neben die Kupferplatte, hebt die Zinkplatte in die Höhe, schiebt unter sie in die beiden letzteren Böcke gleichfalls eine starke Glasröhre, und läſst sie hierauf ruhen, wobei die Flüssigkeit in die Vertiefung der Kupferplatte abflieſst, die Zinkplatte aber gegen zu starkes Zerfressen geschützt wird. Ist letztere zu schwer, so läſst sich das Heben derselben auch durch einen Flaschenzug bewerkstelligen. Im Ganzen sind aber solche Apparate im Vergleich mit andern zu unbequem.

4. Einen zweckmäſsigen Apparat zur Hervorbringung eines starken elektrischen Stromes hat G. G. Schmidt[1] angegeben. Dieser bestand aus einer Kupferplatte von 20 Z. Höhe und 30 Z. Länge, welche gespannt und ihrer Länge nach dreifach in der Richtung a b c d e gebogen war. Die Breite der dadurch entstandenen 4 Flächen betrug etwa 6 Zoll, der Abstand jeder einzelnen Fläche 2 Z. Eine Zinkplatte, gleichfalls 20 Z. breit, wurde dann in die Gestalt f g h i k gebogen, und eine gerade Zinkplatte l o durch vier halbrund gebogene Zinkstreifen m, n; m, n mit ihr verbunden, so daſs also alle drei Zinkplatten, mit einander vereinigt, als eine einzige wirkten, und der Apparat sonach als aus zwei Elementen bestehend anzusehen war. Der Zwischenraum der zwischen einander geschobenen Platten betrug einen Zoll. Vom oberen gekrümmten Ende der Zinkplatte g i ging ein 5 Z. langer und 1 Z. breiter Zinkstreifen h q horizontal heraus, endigte in einen Haken, und hatte bei q eine Vertiefung zur Aufnahme von etwas Quecksilber. An den gegenüberstehenden beiden Krümmungen der Kupferplatte b d war ein ähn- Fig. 60.

1 G. LXXII. 1.

licher Kupferstreifen angelöthet, gleichfalls mit einem Haken und einer Vertiefung bei p. Hiernach waren also p und q die beiden entgegengesetzten Pole des Elektromotors, der ganz in ein kleines Fäſschen von Eichenholz gestellt wurde, welches 20 Maſs, ungefähr 80 ℔ Wasser faſste, und am Boden mit Pech ausgegossen war. Das Metall berührte nirgend die Seitenwand des Fäſschens, und ragte etwa 1 Z. über den Rand desselben empor. Auf das Fäſschen paſste ein cylindrischer Deckel, in der Mitte mit einem 2 F. hohen Rohre zum Abführen des entbundenen Wasserstoffgas versehen, und die beiden Polarstreifen p und q ragten durch zwei Einschnitte im Deckel hervor.

Da eine Menge der interessantesten elektromagnetischen Erscheinungen nur durch groſse Apparate hervorgerufen werden kann, so muſs man allezeit die Frage berücksichtigen, ob die in Vorschlag gebrachten auch in gröſserem Maſsstabe ausführbar sind. Dieses läſst sich allerdings von dem hier beschriebenen behaupten; indeſs muſs ich wegen einer gemachten Erfahrung doch rathen, bei der Ausführung ähnlicher Apparate genau die hier gegebene Vorschrift zu befolgen, wenn man einer bedeutenden Wirkung versichert seyn will. Ich habe nämlich einen ähnlichen Apparat verfertigen lassen, aus 16 Zinkplatten, jede nahe 2 Quadrf. Fläche haltend, welche in einen kupfernen Trog mit eben so viel lothrecht in denselben eingelassenen und nahe 2 Z. von einander abstehenden Kupferplatten herabgelassen wurden, ohne wie sich von selbst versteht, den Boden zu berühren, und so daſs ich mich von dem Getrenntseyn der zwei Metalle durch zwischengesteckte Glasröhren überzeugte. Die Gasentwickelung war auſserordentlich stark, aber die elektromotorische Wirksamkeit unmerklich, und ich kann daher nicht anders glauben, als daſs die in bedeutender Stärke hervorgerufene Elektricität die für ihre zu groſse Erregung zu dünnen Schichten der Flüssigkeit durchdrang. Wahrscheinlich aber lag die Ursache des Miſslingens in dem nicht zweckmäſsig gewählten kupfernen Kasten, welcher den ganzen Apparat einschloſs, und ist daher ein hölzerner, mit Pech ausgegossener, auf allen Fall vorzuziehen.

5. Die mächtigsten Apparate, welche man bisher zur Erzeugung der elektromagnetischen Erscheinungen benutzte, sind die riesenhaft groſsen, welche Robert Hare unter dem Namen

Calorimotor und *Deflagrator* bekannt gemacht hat, einige noch gröſsere im Besitze begüterter Britten und die gröſsten von allen im Royal Institution zu London. Es giebt indeſs nur *einen* elektromagnetischen Versuch, welcher einen so kolossalen Apparat erfordert, wenn das Resultat in seiner auffallenden Eigenthümlichkeit hervortreten soll, und weil zugleich diese Apparate am gehörigen Orte ausführlich beschrieben werden[1], so übergehe ich sie hier, um noch die Beschreibung eines sowohl im Kleinen als auch im Groſsen ausführbaren bequemen Apparates hinzuzufügen, welcher mir unter die zweckmäſsigsten zu gehören scheint, und dem von Hare[2] zuerst angegebenen Calorimotor oder noch eigentlicher dem *elektromagnetischen Apparate* von Pepys[3] nachgebildet ist. Um zugleich die Dimensionen und die erhaltenen Wirkungen zu vergleichen, beschreibe ich denjenigen, welchen ich selbst habe ausführen lassen.

Drei Zinkplatten, jede 5 Par. F. lang und 2 F. breit wurden zu einer einzigen langen Platte zusammengeniethet, wobei das Durchschlagen der Niethe die Metalle, wie ich mich überzeugt habe, in so innige Verbindung bringt, daſs kein Zusammenlöthen weiter erforderlich ist. Demnächst wurde die vereinte Platte nach einer in natürlicher Gröſse entworfenen Zeichnung genau in die Spirale $\beta\gamma$ ihrer Länge nach gebogen. Drei gleich Fig. 61.
hohe, zusammen 17,5 F. lange Kupferplatten wurden auf gleiche Art zusammengeniethet, und in die Spirale $\alpha\delta$ gebogen, und nachdem beide durch ihre eigene Elasticität sich in dieser Form erhielten, wurde die Zinkplatte in die Kupferplatte von oben herab niedergelassen, so daſs ihre Windungen nach der Zeichnung liefen, und durch Biegen, Richten und Schieben in nahe genau 0,5 P. Z. Abstand von einander kamen. Die inneren Windungen bei γ und δ müssen am genauesten gebogen seyn; indeſs erhalten sich diese, wenn sie einmal gehörig verfertigt sind, durch ihre Kleinheit am leichtesten in ihrer Form. Um indeſs den Abstand der einzelnen Windungen völlig genau zu erhalten, wurde ein für den Abstand von $\gamma\delta$ und die ersten Win-

1 S. *Galvanismus.*

2 The American Journ. of Sciences and the Arts. III. 105. u. 345. Vergl. Schweigg. J. XXVI. 321.

3 Phil. Trans. 1823. II. Ann. de Chim. et Ph. XXV. 217.

dungen gearbeiteter Stab in der Mitte hinabgeschoben, zwischen die übrigen Windungen aber im Ganzen 60 tannene Stäbe, 2 F. lang und von 0,5 Par. Z. Seite des quadratischen Querschnittes herabgedrückt, und zuletzt das Ganze mit einem Seile mehrmals umwunden. Als Träger dieser Metallmasse stand eine vom Kübler aus mehreren Stäben nach Art eines Faſsbodens verfertigte, durch eine starke, unterhalb eingelassene Leiste befestigte Scheibe von Eichenholz bereit, in deren Mitte eine Stange a eingelassen war, 2,7 F. lang 1,5 Z. breit und 1 Z. dick. Weil diese bestimmt war, die ganze Last des Metalles zu tragen, so wurden unten an den beiden schmalen Seiten zwei starke Kupferstreifen eingelassen, welche 3 Z. über die Oberfläche der Scheibe hervorragend vermittelst zweier starken Kupferdrähte an die Stange a geniethet, dann durch die Scheibe herabgelassen, unten 2 Z. lang umgebogen und vermittelst kurzer, nicht durch das Holz reichender kupferner Nägel befestigt wurden. Der Halbmesser der Scheibe betrug 0,5 Z. mehr, als die gerade Linie vom Mittelpuncte in a bis nach α. Um die Scheibe war ein hölzerner, 0,5 Z. über ihre Fläche hervorragender Reifen gelegt, und sie dann bis zu dieser Höhe mit schlechter Elektrophormasse übergossen, nach deren Erkalten die Metallmasse auf dieselbe herabgelassen, ordentlich gerichtet, und von der Berührung mit dem Stabe a durch vier an derselben herabgedrückte Glasstreifen abgehalten wurde. Damit dann die Metallwindungen in das Pech einschneiden möchten, wurde von oben herab siedendes Wasser hineingegossen, worauf das erwärmte Metall in die erweichte Masse durch sein eigenes Gewicht einsank. Um auch oben den Abstand der Windungen bleibend zu erhalten, wurden zwei hölzerne Stäbe 0,5 Z. breit und 1,3 Z. hoch in 2 Zoll Abstand von der Stange a mit einander parallel quer übergelegt, für die Metallränder mit der Säge 0,5 Z. tief eingeschnitten, dann herabgedrückt, endlich wurden der hölzerne Reifen, das Seil und die zwischengeschobenen Stäbe weggenommen, und der Apparat war so weit fertig.

Um denselben bequem in einen eichenen, nach oben etwas erweiterten, unten genau die tragende Scheibe fassenden, mit drei kupfernen Reifen beschlagenen Behälter der Flüssigkeit herabzulassen, war oben an der Stange a eine kupferne Klammer vermittelst zweier Niethen befestigt, welche einen kupfernen Ring trug, in welchen der Haken des hebenden Flaschenzuges ge-

hängt werden kann. Damit aber der unerträgliche Einfluſs des entwickelten Gas vermieden werde, ruhet auf den oberen eingeschnittenen parallelen Stäben ein Deckel, welcher den etwas über das Metall hervorragenden Behälter genau verschlieſst, und das gebildete Gas durch ein krummgebogenes, aus dem Fenster geleitetes Rohr entweichen läſst. Durch den Deckel sind endlich zwei an die Enden α und β angelöthete, aufrecht stehende, über dem Deckel rechtwinklich umgebogene und zu Schälchen vertiefte Kupferstreifen angelöthet, welche zur Aufnahme von etwas Quecksilber, oder auch zum Anlöthen längerer Drähte dienen.

Die Wirkung dieses allerdings groſsen, aber bequemen Apparates, welcher ohne Schwierigkeit von einem Manne vermittelst des Flaschenzuges aus der Säure in die Höhe gezogen und in dieselbe herabgelassen werden kann, hat mich nur in einer Hinsicht befriedigt. Es war nämlich seine Kraft des Verbrennens der Metalle nicht stärker, als bei einer mäſsigen Säule, die elektromagnetische dagegen war so stark, daſs ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser bei einer allmälig steigenden Hitze, welche das Halten mit den Fingern nicht zulieſs, einen Cylinder von Eisenfeilicht bis zur Dicke einer halben Linie um sich bildete. Die gebrauchte Säure bestand aus Wasser mit etwa ein Sechzigtheil englischer Schwefelsäure und halb so viel rauchender Salpetersäure dem Volumen nach. Reines Regenwasser gab eine sehr sichtbare Abweichung der Magnetnadel, und eine spätere Verdünnung der gebrauchten Säure durch $\frac{1}{4}$ Wasser schwächte die Wirkung nicht merklich. Verdünnte Schwefelsäure konnte ich wegen noch nicht hergestellter Gasableitung bis jetzt nicht versuchen. Uebrigens stimmen diese Beobachtungen ganz mit denen überein, welche auch Pepys gemacht hat, und es geht daraus hervor, daſs solche Apparate die elektromagnetischen Erscheinungen in groſser Stärke zeigen, für chemische Wirkungen dagegen und auch zum Verbrennen der Metalle wenig geeignet sind. Rücksichtlich des Letzteren scheint es der groſsen Menge von erregter E. an der erforderlichen Kraft zu fehlen, um schlechtere Leiter zu durchdringen, denn ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser wurde so heiſs, daſs man ihn nicht mit den Fingern halten konnte, ein Platindraht von 0,2 Lin. Durchmesser wurde dagegen nur warm.

Indeſs habe ich die Versuche nicht oft genug wiederholt, um hierüber bestimmt entscheiden zu können.

B. Feuchte Leiter.

Die so eben beschriebenen, und überhaupt alle zur Erzeugung elektromagnetischer Wirkungen dienenden Volta'sche Apparate bedürfen eines feuchten Zwischenmittels. Nun werden zwar diese elektromagnetischen Erscheinungen, wenn man die geringsten Einwirkungen auf die Bewegung der feinsten Nadeln mitrechnet, durch die verschiedensten galvano-elektrischen Zustände der Körper hervorgebracht; allein wenn wir uns nicht in das Gebiet des Galvanismus verirren wollen, so gehören alle diejenigen Untersuchungen nicht *zunächst* zum Elektromagnetismus, bei denen man sich der höchst beweglichen Magnetnadeln bedient, um von ihrer Bewegung auf das Vorhandenseyn der Elektricität zu schlieſsen. Rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* an sich darf man es nur im Allgemeinen als Thatsache aufstellen, daſs die Stärke, worin derselbe hervorgerufen wird, der Intensität der erzeugten Elektricität proportional ist. Eben daher kann hier auch die Frage nicht erörtert werden, ob die Stärke des erzeugten Elektromagnetismus durch die chemische Einwirkung der feuchten Leiter auf die Metallplatten bedingt werde, indem dieses vielmehr von der Beantwortung der Frage abhängt, ob die im Volta'schen Apparate erzeugte Elektricität durch den Chemismus der bei ihnen angewandten Metalle und feuchten Leiter erzeugt oder verstärkt wird. Weil daher alle diese nicht leichten Untersuchungen hier unerörtert bleiben müssen, so kommt zunächst in Beziehung auf das Praktische bei der Anstellung der Versuche nur *die* Frage in Betrachtung, *welcher Flüssigkeiten man sich am besten bedienen kann, um die elektromagnetischen Erscheinungen leicht und in gröſster Stärke hervorzurufen.*

Wenn man aus den vielen Versuchen, welche zunächst in dieser Absicht angestellt sind, und aus den gelegentlich mitgetheilten Angaben über die angewandten feuchten Leiter die Hauptresultate heraushebt, so sind folgende Flüssigkeiten für diesen Zweck am geeignetsten.

1. *Verdünnte Schwefelsäure*, welche neben ihrem geringen Preise zugleich fast die stärksten Wirkungen hervorbringt, die gebrauchten Metalle nicht sehr beschmutzt, so daſs sie leicht

gereinigt werden können, und das Zinn der Löthung nicht angreift. Eine grofse Unbequemlichkeit derselben ist indefs die allezeit bedeutende Gasentwickelung, desgleichen das allmälige Verzehrtwerden des Zinkes, welches bei anhaltenden Versuchen so stark ist, dafs die Apparate bald unbrauchbar werden. Ueber das beste Verhältnifs der Mischung von Wasser und Schwefelsäure sind die Beobachter nicht einig. Poggendorff erhielt die stärkste Wirkung bei einer Verdünnung der Schwefelsäure von 184° mit etwa 3 Th. Wasser; Seebeck[1] durch Schwefelsäure von 1,845 sp. Gew. mit 2 Th. Wasser verdünnt; Pfaff[2] mit englischer Schwefelsäure und 4 Th. Wasser. Es scheint mir bei dieser Bestimmung zugleich die Gröfse der gebrauchten Apparate einen Unterschied zu machen, indem ich aus verschiedenen Versuchen, namentlich mit dem oben Nr. 5. beschriebenen Apparate schliefsen zu müssen glaube, dafs bei grofsen Apparaten die Menge der erzeugten Elektricität sich durch die concentrirbaren Säuren wegen der vollkommneren Leitung zu leicht einen Weg bahnt, als dafs sie hinlänglich wirksam seyn könnte.

2. *Gesättigte Salmiakauflösung* wirkt nach Pfaff[3] fast eben so stark als die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser, womit Poggendorff übereinstimmt. Ihre Wirksamkeit ist aufserdem länger dauernd, als die der Säuren, auch kann man die schon gebrauchte, von etwas Schmutz durch ruhiges Stehenlassen leicht zu reinigende Flüssigkeit stets wieder benutzen, wenn man die unter Nr. 2 bis 5 beschriebenen Apparate gebraucht. Indefs hat sie die Nachtheile, dafs sie das Zinn der Löthung zerfrifst, Kupfer und Zink sehr beschmutzt, wovon ersteres mit verdünnter Schwefelsäure leichter, letzteres aber nur durch starkes Scheuern mit Sande mühsam gereinigt werden kann. Für grofse Apparate ist diese Substanz aufserdem kostbar.

3. *Gesättigte schwefelsaure Zinkauflösung* ist hauptsächlich durch Pfaff[4] empfohlen, welcher ihre Wirkung der durch die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser gleichsetzt,

---

1 Berliner Denkschriften für 1820–21. S. 311.

2 Der Elektromagnet. S. 81.

3 a. a. O.

4 a. a. O. S. 84.

und ihre chemische Wirkung = 0 annimmt. Um dieses zu prüfen, habe ich die Versuche mit einem kleinen kupfernen Kasten von 5 Z. Höhe, 6 Z. Breite und 1 Z. Tiefe wiederholt, und dabei gefunden, dafs das käufliche schwefelsaure Zink etwas verunreinigendes Kupfer auf der Zinkplatte absetzt. Auch das reine schwefelsaure Zink setzt mit der Zeit merklichen Schmutz auf der Zinkplatte ab, und es entwickeln sich an dieser nicht wenige Luftblasen. Die Wirkung ist anfangs der durch verdünnte Schwefelsäure erzeugten nahe gleich, nimmt aber nach 4 Stunden bleibender Schliefsung der Kette bedeutend ab, und ist nach 24 Stunden fast ganz verschwunden. Gegen die Behauptung aber, dafs elektromagnetische Wirkungen ganz ohne chemische Thätigkeit stattfinden sollen, streiten sehr bestimmt die Versuche von Pouillet[1], wonach Nadeln aus nicht oxydirbaren Metallen in Theile des thierischen Körpers gesenkt und mit einem Multiplicator verbunden, gar keinen Einflufs auf die Magnetnadel zeigen, welcher dagegen bei Anwendung von rostenden stählernen sogleich zum Vorschein kommt. Eine Erörterung dieser Frage gehört nicht hierher.

4. *Gesättigte schwefelsaure Kupferauflösung* soll nach Pfaff[2] unter allen von ihm versuchten Flüssigkeiten die stärkste Wirkung geben. Indefs ist diese Substanz theuer, und setzt sehr bald einen starken Ueberzug von Kupfer auf der Zinkplatte ab, wodurch ihre weitere Wirksamkeit aufgehoben wird. Beide genannte Flüssigkeiten können daher keineswegs dazu gebraucht werden, um die Elektromotoren in stets fortdauernder Thätigkeit zu erhalten, wie man auf den ersten Blick wohl anzunehmen geneigt seyn könnte.

5. Sonst gebraucht man noch *Salpetersäure*, allein diese greift das Metall heftig an, und übertrifft hinsichtlich ihrer Wirkung die Schwefelsäure nicht. Viele bedienen sich auch einer *Mischung von Salpetersäure, Schwefelsäure und Wasser.* Davy[3] nahm bei den Versuchen, welche er zur Erzeugung einer mächtig wirkenden Elektricität anstellte, eine Mischung aus 1168 Th. Wasser, 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure. Eine ähnliche Mischnng habe ich verschiedentlich

---

1 Magendie Journal de Physiol. V. 1.

2 a. a. O.

3 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.

bei dem oben (II. A. 1.) beschriebenen Apparate angewandt und mit zwei Platten, deren jede nur 18 Z. Seite hatte, sehr starke Wirkungen erhalten. Sie gewährt außerdem den großen Vortheil, daß man den unangenehmen Einfluß des zinkhaltigen Wasserstoffgas auf die Lungen vermeidet. Für jenen Apparat scheint mir daher, ungeachtet der heftigen Wirkung auf das nicht kostbare Zink, die Anwendung dieser Mischung bei weitem am vorzüglichsten zu seyn. Beim Gebrauche des großen Apparates (II. A. N. 5.) war der Geruch nicht unerträglich, es stieg viel Salpetergas auf, dessen Einfluß auf die Respiration aber leicht vermeidlich ist. Wenn man sich also solcher Apparate bedient, bei denen der Zink nur so lange mit der Säure in Berührung bleibt, als man die elektromagnetischen Erscheinungen beobachten will, welches fast in allen Fällen nur eine kurze Zeit geschieht, und daher keine bedeutende Abnutzung der Zinkplatten herbeiführt, so gebührt dieser letzterer Flüssigkeit ohne Streit der Vorzug vor allen übrigen, weil sie die stärksten Wirkungen giebt, und auch bei großen Apparaten den unerträglichen und gefährlichen Einfluß auf die Respiration nicht verursacht, welcher bei der Anwendung der verdünnten Schwefelsäure unvermeidlich ist.

C. Die Leiter der Elektricität.

Die elektromagnetischen Wirkungen werden hervorgebracht durch denjenigen Leiter der Elektricität, welcher dieselbe vom positiven Pole zum negativen überführt, also im Allgemeinen durch die Metalldrähte, welche die Verbindung beider im Conflicte befindlicher Metalle bilden, bei den gewöhnlichen Maschinen aber die erregte Elektricität bloß leiten oder zur Entladung der Flaschen dienen. Ueber die letzteren genügt es zu bemerken, daß man bekanntlich hierzu Messing- oder Kupferdraht nimmt, dessen Stärke übrigens nicht wesentlich in Betrachtung kommt, vorausgesetzt, daß der elektrische Strom denselben nicht zu zerstören vermag. In Betreff der ersteren kommt sowohl die Länge als auch die Dicke und die elektrische Leitungsfähigkeit der angewandten Metalldrähte in Betrachtung. Weil aber den Versuchen zufolge die auf diese Weise erzeugten elektromagnetischen Wirkungen der Menge der durch die Drähte strömenden Elektricität direct proportional sind, so gehört die Untersuchung über das Verhalten der verschiedenen Drähte in

dieser Hinsicht unter den Artikel *Elektricität*, und rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* genügt es, Folgendes im Allgemeinen anzugeben.

a. Davy's[1] interessante und entscheidende Versuche über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalldrähte bleiben hier ganz unerörtert, und es folgt aus denselben für unseren Zweck nur so viel, daſs man bei mächtigen Apparaten Drähte wählen muſs, deren Stärke ein zu starkes Glühen derselben hindert, in welchem Falle sie die gesammte Menge der erzeugten Elektricität ungehindert fortleiten[2]. Für die angegebenen kleinen Kasten und einzelne Scheiben genügen in der Regel die feinsten Claviersaiten.

b. Inzwischen geht doch aus den Versuchen von Poggendorff, Boeckmann und Davy, wonach die elektrische Leitungsfähigkeit der Drähte bei gleicher Länge ihrer Dicke direct proportional ist, und meinen eigenen genugsam hervor, daſs sehr feine Drähte auch bei gleicher Stärke des gebrauchten Elektromotors geringere Wirkungen geben, als dickere. So erhielt ich bei der Anwendung eines Kastens von 6 Z. Länge 4,1 Z. Höhe und 1 Z. Tiefe mit einem Silberdrahte von $\frac{1}{36}$ Lin. Durchmesser 5°; mit einem von $\frac{1}{18}$ L. 7°; mit einem Messingdrahte von $\frac{1}{8}$ Lin. 8°,5; mit einem solchen von 1,2 Lin. 10° Abweichung der Magnetnadel. Wird der Draht bedeutend dicker, so nimmt die Wirkung wieder ab, denn ein Messingdraht von 2,9 Lin. gab nur 9°, und ein Bleicylinder von 34 Lin. nicht mehr als 8°,5. Die Nadel war in allen Versuchen 20 Lin. von der geometrischen Axe der gebrauchten Leiter entfernt, und auch die feinsten Drähte wurden nicht glühend[3].

c. Die Länge der leitenden Drähte macht nach v. Yelin[4] innerhalb mäſsiger Grenzen keinen Unterschied, denn ein Draht

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 241 ff.

2 Ich habe gefunden, daſs bei sehr groſsen Apparaten, wie bei dem oben II. A. 5. beschriebenen, dünne Drähte nicht so leicht heiſs werden, als dicke, vermuthlich weil nicht genug Elektricität durch sie strömt, und ihre verhältniſsmäſsig gröſsere Oberfläche eine leichtere Abkühlung gestattet.

3 G. LXXI. 423. Aehnliche Resultate haben Barlow S. Edinb. Phil. Journ. XXIII. 112. und Cumming S. Transact. of the Cambridge Phil. Soc. for. 1821 erhalten.

4 G. LXVI. 324.

von 6 F. und ein anderer von 1,5 F. Länge zeigten gleiche Wirkungen. Inzwischen beruhet dieser Satz auf den Resultaten solcher Versuche, worin der gebrauchte Draht die durch die beiden Metalle erregte Elektricität mehr als vollständig fortzuleiten vermochte, und stimmt insofern mit vielen Erfahrungen anderer überein. Weil aber H. DAVY[1] gefunden hat, daſs die Leitungsfähigkeit eines Drahtes seiner Länge umgekehrt proportional ist, indem z. B. 3 Z. Platindraht von $\frac{1}{120}$ Z. Dicke die Elektricität von 20 Plattenpaaren zu leiten vermochten, wenn 6 Z. die von nur 10 Plattenpaaren leiteten, so folgt hieraus, in Verbindung mit dem andern oben erwähnten Satze, wonach die Stärke der elektromagnetischen Wirkung der Menge der durch den galvanischen Leiter strömenden Elektricität proportional ist, daſs auch die elektromagnetische Kraft der Länge der Leitungsdrähte dann umgekehrt proportional ist, wenn sie die erregte Elektricität gerade vollständig zu leiten vermögen.

C. H. PFAFF[2] beweiset durch eine Reihe von Versuchen, welche mit Multiplicatoren von vielfachen Windungen angestellt wurden, daſs bei einer gegebenen Dicke des Leitungsdrahtes die Länge desselben bis zu einer Gröſse vermehrt werden kann, bei welcher eine vollständige Durchströmung der erregten Elektricität durch denselben nicht mehr statt findet. Am entscheidendsten sind aber die Versuche, welche BARLOW[3] absichtlich zur Beantwortung dieser Frage angestellt hat, und aus denen mit fast vollständiger Uebereinstimmung folgt, daſs die Tangenten der Abweichungen, welche gleiche Magnetnadeln bei gleichem Abstande unter oder über den galvanischen Leitungsdrähten von verschiedener Länge zeigen, den Quadratwurzeln aus den Längen umgekehrt proportional sind. Bezeichnet man also den Abweichungswinkel bei einer Länge $= 1$ des galvanischen Leiters durch v, bei einer Länge $= L$ aber durch v', so ist

$$\text{tang } v' = \text{tang } v \sqrt{\frac{1}{L}}$$

Die Länge und die Dicke der Metalldrähte also, welche die

1 a. a. O.

2 Der Elektromagnetismus u. s. w. S. 109. Aehnliche Versuche von SEEBECK S. Berlin. Denkschr. 1820—21. S. 318 ff.

3 Edinburgh Phil. Journ. XXIII. 105.

Pole der Volta'schen Säule verbinden, bedingen die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit auf die Nadel mit Rücksicht auf ihr elektrisches Leitungsvermögen, welches letzteres dann wieder nach Davy bloſs durch die Masse, nicht aber durch die Gröſse der Oberfläche bedingt ist.

d. In der Regel bedient man sich zu den elektromagnetischen Versuchen *cylindrischer Leiter* von Metall, deren Dicke der Menge der durchströmenden Elektricität proportional gewählt wird, und wozu Kupferdrähte (sogenannte silberne Claviersaiten) wegen ihrer Biegsamkeit und Stärke am besten geeignet sind. In der Hauptsache ist es indeſs gleichgültig, ob statt deren *Metallstreifen* oder *hohle Röhren* gewählt werden, indem der Unterschied in den Erscheinungen, welche sie zuweilen darbieten, durch anderweitige Ursachen herbeigeführt wird[1].

e. Daſs endlich auch die *Beschaffenheit des Metalles* bei gegebener Dicke und Länge der Drähte auf die elektromagnetische Wirksamkeit einen Einfluſs haben müsse, liegt in der Natur der Sache. Allein auch hier fällt diese mit der Leitungsfähigkeit für die Elektricität zusammen, in welcher Hinsicht Davy[2] sie in folgender Ordnung vom besten Leiter anfangend an einander reihet: *Silber*, *Kupfer*, *Blei*, *Gold*, *Zink*, *Zinn*, *Platin*, *Palladium*, *Eisen*. Hiermit stimmen die durch v. Yelin[3] erhaltenen Resultate im Allgemeinen überein. Sind die Pole der Säule durch mehrere Leiter verbunden, so wird der Elektromagnetismus sich in dem kürzesten und besten Leiter in ungeschwächter Stärke zeigen, wenn derselbe alle Elektricität vollständig überzuführen vermag, durch bedeutende Vermehrung der Länge des letzteren aber, wenn er allein die Verbindung der elektrischen Pole macht, und z. B. mit einem Multiplicator von 100 Windungen verbunden ist, nach Pfaff[4] geschwächtere Wirkungen zeigen. Letzteres wird auch nach Poggendorf[5] dann der Fall seyn, wenn der Verbindungsdraht durch einen schlechteren Leiter der Elektricität, als *Graphit*, *Kohle*, *Schwe-*

1 Vergl. unten III. A. 4. u. 9.
2 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 250 ff.
3 G. LXVI. 324.
4 Der Elektromagnetismus S. 91.
5 Ebend. S. 92.

felkies u. dgl. unterbrochen ist; ein künstlicher Magnet, wie grofs auch seine Stärke seyn mag, ist in diesem Falle von *keinem* Einflusse. Auf gleiche Weise endlich werden auch flüssige Körper, welche den Verbindungsdraht unterbrechen, die elektromagnetischen Wirkungen um so mehr schwächen, je weniger und unvollkommener sie der Elektricität den Durchgang verstatten. Pfaff[1] hat sich sehr zweckmäfsig des Elektromagnetismus bedient, um unter dieser angegebenen Voraussetzung die elektrische Leitungsfähigkeit der verschiedenen Flüssigkeiten zu prüfen.

f. Es läfst sich hier noch eine Frage aufwerfen, welche bisher noch nicht in ihrem ganzen Umfange beantwortet, und überhaupt schwer zu beantworten ist, nämlich ob und in welchem Grade auch andere Substanzen, aufser den Metallen, in den Strom der galvanischen Elektricität gebracht, elektromagnetische Wirkungen zeigen. So interessant die Frage auch ist, so stehen einer Beantwortung derselben doch fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, weil die Strecken, durch welche der Strom in der Flüssigkeit oder dem zu untersuchenden Körper geleitet wird, so lang seyn mufs, dafs man gegen den Einflufs der verbindenden Metalldrähte auf die Magnetnadel gesichert ist. Der Analogie nach und in Gemäfsheit der hierüber angestellten Versuche darf man mit Grunde schliefsen, dafs in allen solchen Körpern nur geringe magnetische Kräfte hervorgerufen werden, welche die Elektricität unvollkomman und in geringer Menge durch sich hindurchlassen. Hierbei ist der Zustand der Festigkeit oder der Flüssigkeit von gar keinem Einflusse; denn Glasröhren mit Quecksilber oder Rose'schem Metalle gefüllt setzten die Magnetnadel nach Davy[2] in starke Bewegung. Derselbe fand, dafs Kohle, als schlechter elektrischer Leiter, nur dann einige Wirkung auf die Magnetnadel äufserte, wenn sie den metallischen Verbindungsdraht in einer grofsen Fläche berührte, ein feiner Draht aber, durch ein Stück Kohle mit dem Leiter der galvanischen Elektricitat verbunden, zog auch bei der Einwirkung einer mächtigen Batterie kein Eisenfeilicht an, wenn er die Kohle unmittelbar berührte, sehr wenig aber wenn das Ende der Kohle mit einem Platinblech belegt und durch

1 Der *Elektromagnetismus* S. 96.

2 Phil. Trans. 1821. II.

dieses die Verbindung hergestellt war. DAVY konnte es ferner nie dahin bringen, daſs einer der besten galvanischen Leiter, nämlich geschmolzenes Kalihydrat Eisenfeilicht anzog, und damit getränkte Baumwollenfasern wurden von einem Magnete gar nicht angezogen. Stahlnadeln, welche vermittelst Kork auf Kaliauflösung schwammen, nahmen durchaus keine Polarität an, wenn der elektrische Strom durch diese Flüssigkeit geleitet wurde, und der einzige Beweis, daſs sich auch in ihr Magnetismus entwickele, lag in dem Einflusse derselben auf die Magnetnadel in dem Falle, wenn eingetauchte Metallflächen von bedeutender Ausdehnung sie mit der Volta'schen Batterie verbanden. Die Anziehung des Eisenfeilicht gehört indeſs schon unter die bedeutendsten elektromagnetischen Wirkungen, welche sehr starke Elektromotoren und eine gute Leitungsfähigkeit des Körpers voraussetzen. Daſs übrigens Flüssigkeiten, wenn ein Strom galvanischer Elektricität sie durchströmt, die Magnetnadel in Bewegung setzen, wurde gleich anfangs durch SEEBECK[1] beobachtet, und nach GROTTHUSS[2] geschieht dieses sogar durch einen mit Salzwasser hinlänglich getränkten Bindfaden. Diese übereinstimmenden Resultate führen also auf allen Fall zu der wichtigen Folgerung, daſs nicht bloſs die Metalle, sondern auch andere feste und flüssige Körper zur Erzeugung des Magnetismus vermittelst der Elektricität geeignet sind, wenn diese anders in genügender Menge dieselben zu durchströmen vermag. Dieser Schluſs läſst sich gar nicht oder nur unvollkommen auf die durch POGGENDORF[3] erhaltene Beobachtung gründen. Dieser legte nämlich die Zink- und die Kupferplatte in 6″ Entfernung von einander, bedeckte jede durch eine mit Salmiaklösung getränkte Tuchscheibe, und verband diese durch einen breiten, gleichfalls in Salmiakauflösung getauchten Streifen Tuch. Unter letzteren stellte er eine empfindliche Magnetnadel, und schloſs dann die Kette durch einen Multiplicator von 100 Windungen und gleichfalls mit einer Nadel versehen. Letztere zeigte eine merkliche Abweichung, erstere aber gar keine, ohne Zweifel deswegen, weil die geringe Menge der durchströmenden Elektricität hierzu nicht kräftig genug war, und erst eines

---

1 Berliner Denkschr. a. a. O. S. 383.

2 Allgem. Nord. Annalen VI. 146.

3 Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 95.

Multiplicators bedurfte, um merkliche Wirkungen zu zeigen. Außerdem wurde die elektromagnetische Wirkung durch die Breite des Tuchstreifens geschwächt, indem auch breite metallene Leiter einen geringeren Einfluſs auf die Magnetnadel ausüben.

Will man diese interessante Frage abermals zum Gegenstande neuer Versuche machen, so ist an sich klar, daſs dazu kein aus zwei Elementen bestehender Apparat gewählt werden darf, weil die Spannung der Elektricität in diesem auf allen Fall zu geringe ist, um die nicht metallenen Leiter auf eine so groſse Länge zu durchdringen, daſs die Wirkung derselben auf die Magnetnadel mit genügender Sicherheit beobachtet werden könnte, und nur Säulen aus vielen Plattenpaaren sind hierzu geeignet. Als unbedeutenden Probeversuch benutzte ich selbst eine stehende Zink-Kupfersäule aus 36 zusammengelötheten Doppelplatten von 6 Z. Seite und 96 solchen von 5 Z. S. mit Salmiakwasser aufgebauet, um das Verhalten einiger flüssiger Leiter auf die Magnetnadel zu prüfen. Eine feine Magnetnadel erhielt hierbei über Glasröhren 4 Z. lang und 0,3 Z. weit mit concentrirter Schwefelsäure, mit rauchender Salpetersäure und mit gesättigter Kochsalzsolution gefüllt, die Enden durch Platindrähte in den Kreis der Säule gebracht, so starke Abweichung, daſs sie nur wenig geringer war, als über einem die Pole verbindenden Platindrahte.

Nach allen diesen Versuchen muſs ich schlieſsen, daſs der Magnetismus in allen Körpern, durch welche die Elektricität strömt, mit einer der Intensität und Leichtigkeit dieser Durchströmung proportionalen Stärke hervorgerufen wird. Eben hieraus ergiebt sich aber, daſs einige Erscheinungen, z. B. das Anhängen des Eisenfeilicht nur an vollkommenen Leitungsdrähten beobachtet werden können, weil nur diese der groſsen Menge mit geringer Spannung versehener Elektricität zweielementiger Elektromotoren eine hinlängliche Leitung darbieten.

g. Auch die Luft, oder vielmehr der die Luft durchdringende elektrische Strom, wenn nicht eigentlicher die durch den elektrischen Strom fortgeführte Flamme ist als ein elektromagnetischer Leiter anzusehen, und zeigt in dieser Hinsicht Wirkungen, welche später genauer angegeben werden sollen[1].

---

1 Vergl. III. C. 17.

h. Wird der galvanische Leiter, auch der vollkommene, durch einen nach Verhältniſs der elektrischen Spannung unvollkommenen unterbrochen, z. B. Wasser, den thierischen Körper u. dgl., so verliert er seine elektromagnetische Kraft ganz oder zum Theil[1].

Die durch ein einziges Plattenpaar, wie groſs dasselbe auch seyn mag, hervorgebrachte galvanische Elektricität hat eine geringe Spannung, und durchdringt daher die Nichtleiter oder schlechten Leiter derselben nur unvollkommen oder gar nicht. Soll daher dieser Strom nicht unterbrochen werden, so müssen alle solche schlechte Leiter, wie dann sie auch seyn mögen, sorgfältig vermieden werden. Es genügt daher nicht, wie bei der Reibungs-Elektricität, sich der Ketten zur Verbindung zu bedienen, weil eine dünne Lage Oxyd oder Schmutz leicht die innige Berührung hindern kann, auch muſs man die Metalle, welche man in den Strom der Elektricität bringt, an den Stellen ihrer Berührung recht blank schaben. Das einfachste und sicherste Mittel, eine innige und ungehinderte Verbindung hervorzubringen, ist das Quecksilber, welches man in kleine Vertiefungen gieſst, und die blank geschabten Enden der Metalldrähte oder Streifen in dieses einsenkt. Oft genügt es auch schon, nur ein kleines Tröpfchen Quecksilber zwischen die Flächen zweier Metallstreifen zu bringen, durch welche der elektrische Strom ungehindert fortgeleitet werden soll. Weil aber das Metall auch in diesem Falle leicht mit Schmutz überzogen wird, und hierdurch die Fortleitung des elektrischen Stromes geschwächt oder ganz gehindert werden kann, so ist es nach Ampère[2] rathsam, allezeit vor dem Gebrauche des Apparates die Metallflächen etwas abzukratzen, damit die Verbindung derselben mit dem Quecksilber inniger werde. Für diejenigen Fälle endlich, in denen die Verbindung durch Quecksilber auf die angegebene Art nicht hergestellt werden kann, wenn z. B. der elektrische Strom durch zusammengeschlungene Drähte geleitet werden muſs, bedient man sich nach Faraday[3] des Mittels, sie mit etwas salpetersaurem Quecksilber

---

1 S. Boisgiraud in Ann. Ch. Ph. XV. 279.

2 Ann. Ch. P. XXVI. 392.

3 G. LXXII. 114.

zu reiben. Eisen und Stahl kann vorher in schwefelsaurer Kupfersolution mit etwas Kupfer überzogen werden.

Ungleich zahlreicher, als die wenigen jetzt beschriebenen elektromotorischen Apparate, sind diejenigen, vermittelst deren man die verschiedenen elektromagnetischen Erscheinungen beobachtet hat. Indem aber bei weitem der gröfste Theil derselben für gewisse individuelle Phänomene construirt ist, so scheint es mir am zweckmäfsigsten, sie bei der Erörterung dieser letzteren zugleich mit zu beschreiben.

III. Elektromagnetische Erscheinungen.

Die elektromagnetischen Erscheinungen sind ungemein zahlreich, und vermöge des lebhaften Interesses, welches sie erregten, und der grofsen Zahl derjenigen Experimentatoren, welche sich lange Zeit damit beschäftigten, ohngeachtet der Neuheit ihrer Entdeckung so unglaublich vervielfacht und so mannigfaltig modificirt, dafs es in der That Mühe kostet, dieselben zu ordnen und dadurch die Sache selbst in einer klaren Uebersicht darzustellen. Genau genommen lassen sich indefs die gesammten Phänomene füglich auf das zuerst entdeckte Hauptphänomen zurückbringen, nämlich dafs *der Pol eines Magnetes, also auch die Spitze einer Magnetnadel um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität rundum bewegt wird.* Hierbei ist der Leitungsdraht der Elektricität unbeweglich, und die gemeinen, auf feinen Spitzen beweglichen Declinations- und Inclinationsnadeln zeigen dieses Gesetz zwar sehr leicht, aber nur unvollständig, indem eine vermöge der Art ihrer Befestigung nur in horizontaler Ebene bewegliche Nadel nur in dieser, und eine blofs in verticaler Ebene bewegliche gleichfalls nur in dieser bewegt werden kann. Ist dagegen der Pol eines Magnetes fest, der Leitungsdraht der Elektricität aber beweglich, so wird *letzterer je nach den bedingenden Umständen sich in horizontaler oder verticaler Ebene bewegen, oder um den magnetischen Pol herumlaufen.* So gut aber der natürliche und künstliche Magnet dem *Einflusse des Erdmagnetismus* unterworfen ist, mufs dasselbe auch mit dem *magnetisch gemachten Leitungsdrahte* der Elektricität der Fall seyn, und eben so müssen *zwei solche Drähte einen analogen Einflufs auf einander ausüben, als welcher zwischen zwei Magneten* statt findet. Endlich mufs

der auf magnetischen Stahl einwirkende Leitungsdraht seine magnetische Kraft auch gegen *unmagnetisirten Stahl und Eisen* äufsern, wenn anders der Magnetismus desselben identisch ist mit demjenigen, welcher sonst mit diesem Namen bezeichnet wird. Wäre er letzteres nicht, so würde dieses die Untersuchung ausnehmend erschweren, indem dann im Elektromagnetismus eine bisher ganz unbekannte Potenz zum Vorschein käme. Indefs ist dieses nicht der Fall, da der Leitungsdraht vielmehr Eisenfeilicht anzieht, und Stahl magnetisch macht, sich also als einen wirklichen Magnet zeigt.

Diese wenigen Sätze müssen aus theoretischen Gründen alles dasjenige in sich begreifen, was der Elektromagnetismus leisten kann, wenn man darunter den durch Elektricität hervorgerufenen Magnetismus versteht. Wirklich läfst sich auch bei weitem der gröfste Theil der Phänomene unmittelbar hierauf zurückführen, und die übrigen, bei denen dieses auf den ersten Blick der Fall nicht zu seyn scheint, reihen sich doch bei genauerer Untersuchung der einen oder andern dieser angegebenen Classen an. Ich werde mich daher bemühen, die Erscheinungen, welche zum Elektromagnetismus gehören, in ihrer einfachsten Gestalt darzustellen, dabei diejenigen Gelehrten namhaft machen, welche die einzelnen derselben zuerst entdeckten, nebenbei auf die spätern Untersuchungen und genaueren Erörterungen der schon bekannten Phänomene verweisen, und unter der grofsen Menge der mannigfaltigen Apparate nur diejenigen beschreiben, welche den beabsichtigten Zweck zu erreichen dienen können, ohne zugleich zu kostbar oder zu sehr zusammengesetzt zu seyn, damit auch minder geübte Künstler sie verfertigen können, und die Kosten ihrer Anschaffung mäfsige Summen nicht übersteigen.

A. Wirkungen des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel.

1. Wenn man den Verbindungsdraht der Elektromotoren im magnetischen Meridiane *über* der Axe der ruhenden Magnetnadel mit dieser in einer verticalen Ebene ausspannt, so dafs der elektrische Strom vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden strömt, so wird im Augenblicke der Schliessung des elektrischen Kreislaufes der Nordpol der Nadel nach Osten abweichen. Die Abweichung wird durch die Oscillation der Nadel

im Momente der Schliefsung stärker, ihre Gröfse aber hängt im Allgemeinen von der Stärke des elektromotorischen Apparates ab, und erreicht auf allen Fall für den Zustand der Ruhe bei einem Winkel von 90° ihr Maximum. Ein Plattenpaar von 4 bis 6 Z. Seite, im Maximo seiner Wirksamkeit, bringt eine leichte 2 bis 3 zöllige Nadel schon zum Durchlaufen eines ganzen Kreises. Ist dagegen der Draht in der angegebnen Richtung *unter* der Nadel ausgespannt, so ist die Abweichung gleich stark westlich. Lässt man die elektrische Kette geschlossen, so kommt in beiden angegebenen Fällen die Nadel nach einigen Oscillationen zur Ruhe, behält aber auch dann eine der Stärke des Elektromotors proportionale Abweichung von 5; 10 bis 30 Graden und noch darüber. Ist die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, so sind die Abweichungen der Magnetnadel zwar gleich stark, aber den eben angegebenen entgegengesetzt, und indem diese Umkehrung der Erscheinungen allgemein statt findet, so ist es überflüssig, derselben in jedem einzelnen Falle besonders zu gedenken[1]. Die angegebenen Erscheinungen werden nicht abgeändert, wenn man den Leitungsdraht vor seiner horizontalen Ausspannung über oder unter der Nadel, oder auch bei seiner Zurückführung zum Zinke in die vielfachsten Schleifen und Biegungen windet, und bald rückwärts bald vorwärts hin und her führt, ein allerdings höchst merkwürdiger Umstand, welcher beweiset, dafs durch alles dieses keine Störung weder des elektrischen Stromes noch der erzeugten magnetischen Wirksamkeit entstehen kann. Führt man dagegen den elektrischen Leitungsdraht in einer horizontalen Ebene und parallel mit der Axe der Magnetnadel neben ihr hin, sowohl an jeder der beiden Seiten derselben als auch den Strom der Elektricität von Nord nach Süd angenommen oder umgekehrt, so wird in keinem dieser vier Fälle, mindestens bei nicht zu grofsen Apparaten und bei Declinationsnadeln, welche auf einer Spitze balancirt sind, eigentliche Bewegung, sondern nur eine Art von Unruhe erfolgen. Führt man dagegen den

1 Dafs bei Anwendung eines jeden, aus mehr Plattenpaaren bestehenden Volta'schen Apparates die entgegengesetzte Abweichung beobachtet wird, ist schon erwähnt, und wird hier überall übergangen, weil es leicht supplirt werden kann, und zu elektromagnetischen Versuchen vorzugsweise nur die angegebenen, aus zwei Metallen bestehenden, Apparate anwendbar sind.

elektrischen Leitungsdraht neben einer im magnetischen Meridiane balancirten Inclinationsnadel vorbei, beiden Axen parallel laufend, und die Richtung des elektrischen Stromes von N. nach S. angenommen, so wird die Nordspitze der Nadel sich *herabwärts* bewegen, wenn der Draht an der Ostseite derselben hingeführt ist, dagegen *aufwärts*, wenn er sich an der Westseite derselben befindet. Dafs keine östliche und westliche Abweichung dieser Inclinationsnadel statt finden kann, wenn der Draht über oder unter derselben hingeführt ist, läfst sich aus der Art ihrer Aufhängung leicht erklären.

Die hier angegebenen Erscheinungen wurden zuerst durch den berühmten Entdecker derselben, Oersted, bekannt gemacht[1], und unmittelbar darauf durch de la Rive[2], Schweigger[3], Mayer[4], Ampère[5], Gilbert[6], v. Yelin[7], Poggendorf[8] und viele andere wiederholt. Es können dazu alle eben angegebene elektromotorische Apparate benutzt werden, am bequemsten die unter No. 1 und 2 beschriebenen kleinern; zu den Magnetnadeln aber wählt man willkürlich die gerade zur Hand seyenden längeren oder kürzeren, auf einer Spitze balancirten Declinationsnadeln, am besten die kleinen 2 bis 4 Z. langen, und die gewöhnlichen Inclinationsnadeln. Will man aber ein hierzu vorzüglich geeignetes Instrument benutzen, hauptsächlich um für alle die genannten Erscheinungen an der nämlichen Nadel zu beobachten, so dient hierzu die *astatische Magnetnadel,* und zwar vorzugsweise die durch G. G. Schmidt[9] angegebene sehr zweckmäfsig für diesen Gebrauch construirte, womit für alle eben beschriebene Fälle die Grade der Abweichung sowohl für die Oscillationen als auch für den Zustand der Ruhe genau gemessen werden können[10]. Interessante Ver-

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. 8.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

3 Schweigg. Journ. XXXI. 1 u. 35 ff.

4 Gött. Gel. Anz. 1820. No. 171.

5 Ann. Ch. et Phys. XV. 59.

6 Ann. LXVI. 331.

7 G. LXVI. 395.

8 Erman: Umrisse u. s. w. S. 105. Isis. Jahrg. 1821.

9 G. LXX. 243.

10 Vergl. *Magnetnadel*, *astatische*.

suche mit derselben sind theils durch den Erfinder selbst[1], theils durch Pfaff[2] und andere angestellt. Auch Ampère hat die Construction eines solchen Apparates angegeben[3], welcher im Wesentlichen jenem gleich ist, in einigen Einzelnheiten mir aber minder zweckmäfsig scheint. Der hierher gehörige Zweck der auch für andere Bestimmungen tauglichen Nadel ist dieser, eine Magnetnadel zu haben, welche ihres eigenen Magnetismus ungeachtet dem Einflusse des tellurischen Magnetismus nicht unterworfen ist. Dieses erreicht man dadurch, dafs man eine Magnetnadel sehr beweglich auf einer festen Axe macht, welche letztere genau in die Richtung der Inclinationsnadel gestellt werden kann. Indem sich dann die Nadel blofs in einer Ebene bewegt, welche auf die ihr durch den tellurischen Magnetismus gegebene Richtung senkrecht ist, so kann letzterer keinen weiteren Einflufs auf sie ausüben. Hiervon überzeugt man sich durch den Versuch, ob die so gestellte Nadel dann in jeder ihr gegebenen Lage ruhet.

In vielen Fällen, namentlich wenn man sehr geringe elektromagnetische Wirkungen vermittelst der Multiplicatoren erforschen will, kann indefs eine solche Nadel weniger vortheilhaft in Anwendung gebracht werden, und man bedient sich daher eines andern unlängst bekannten Mittels, um eine für diesen Zweck vorzugsweise geeignete astatische Nadel zu erhalten, indem man zwei gleich starke feine Magnetnadeln mit entgegengesetzter Richtung ihrer gleichnamigen Pole an einer festen Axe befestigt, und leicht schwebend aufhängt. Die Zeichnung giebt ohne weitere Beschreibung eine deutliche Vorstellung von derselben, und es möge blofs noch bemerkt werden, dafs sie anstatt des Balancirens auf der feinen Spitze α noch feiner an einem ungezwirnten Seidenfaden oder in geeigneten Fällen selbst an einem Spinnefaden schwebend aufgehangen werden kann. Um die magnetische Kraft beider Nadeln bleibend zu erhalten, thut man wohl, die Nordpole derselben für gewöhnlich nach einer Seite zu drehen, und blofs für die Dauer der Versuche ihnen Fig. 62.

1 G. LXVII. 141.

2 *Der Elektromagnetismus.* S. 41.

3 Darstellung der neuen Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère und Babinet. A. d. Fr. Leipz. 1822. 8. S. 34. Ann. Chim. et Phys. XV. 198.

eine entgegengesetzte Richtung durch Umdrehen der einen auf der gemeinschaftlichen Axe zu geben.

Ein drittes Mittel, den Einfluss des tellurischen Magnetismus auf die gebrauchten Nadeln aufzuheben, wandten Biot und Savart an, als sie das Verhältnifs der Entfernungen zu der Stärke der magnetischen Repulsion eines galvanischen Leiters untersuchten. Dieses besteht darin, dafs man der Magnetnadel einen starken Magnet in derjenigen genau abgemessenen Entfernung nähert, in welcher sein magnetischer Einflufs den der Erde vollständig aufhebt. Ob man diesen Punct erreicht habe, kann man prüfen, indem man aus gröfserer Ferne den Magnet nähernd die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen der Nadel beobachtet, welche mit zunehmender Nähe stets langsamer werden, und endlich verschwinden. Der Magnet wird dann in diejenige Entfernung gebracht, in welcher die Schwingungen der Nadel langsam genug sind, um den Einflufs des Erdmagnetismus als verschwindend anzusehen[1].

2. Man kann diese bisher beschriebenen sämmtlichen Erscheinungen vermittelst eines von mir angegebenen bequemen und wohlfeilen Apparates darstellen, welcher noch zu andern für die Theorie des Elektromagnetismus nicht unwichtigen Zwecken dient, und daher hier aufgenommen werden möge[2], und obgleich die dazu gewählten Dimensionen willkürlich sind, so behalte ich zur leichteren Uebersicht doch diejenigen bei, wonach das von mir gebrauchte Exemplar ausgeführt ist. In dem lothrechten Durchschnitte der Zeichnung ist a b ein flaches Brett von hartem Holze, 18 Par. Z. lang und 8 bis 9 Z. breit, wonach die übrigen Dimensionen der Kürze wegen leicht geschätzt werden können. In einer, dieses Brett in zwei gleiche Hälften theilenden Linie sind die beiden Glassäulen v, v′ eingelassen, welche oben eine messingne Fassung mit einem quer liegenden messingnen Plättchen tragen, 0,3 Z. breit und 1 Z. lang. Ueber diesen liegen zwei ganz gleiche messingne Plättchen l l′, den ersten parallel, und beim Herablassen sie deckend, an beiden Enden mit einer Schraube so versehen, dafs ein beliebiger Metalldraht zwischen die Plättchen gelegt, und durch Anziehen der oben mit einem Blatte versehenen Schrauben befestigt wer-

Fig. 63.

1 Biot Précis élément. de Phys. Par. 1824. II. vol. 8. II. 706.

2 Vergl. G. LXX. 141.

den kann. Jede Fassung hat oben einen kleinen messingnen Behälter f, f' mit einer Vertiefung, worin sich etwas Quecksilber befindet, aus welchem an jeder Seite ein oben gekrümmter Messingdraht α, γ frei mit dem unteren Ende in eine im Brette befindliche, gleichfalls mit Quecksilber gefüllte Vertiefung herabgeht; und um eine etwa mögliche Leitung der Elektricität durch das Brett zu verhüten, ist dasselbe auf seiner ganzen Oberfläche und vorzüglich in den erwähnten Vertiefungen, mit Bernsteinfirnis überzogen. In die genannten Vertiefungen sind ferner die beiden krummgebogenen Enden e, e' der Drähte β, δ herabgelassen, welche in einer Rinne im Brete liegen, und jeder durch drei kleine Haken in derselben so festgehalten werden, dafs nichts über die Oberfläche des Brettes hervorragt. Sind die gebrauchten Drähte abgenutzt, oder will man sie mit andern vertauschen, so kann man diese leicht unter den Häkchen oder Klammern hinschieben, bei e, e' etwas krumm biegen und in das Quecksilber eintauchen. Die Drähte laufen verlängert nach K und Z hin, und sind mit ihrem andern Ende der eine an die eine Seite des kupfernen Kastens, der andere an das eine der Zinkplatte angelöthet, wodurch also der elektrische Kreislauf vom Kupfer zum Zink und durch die leitende Flüssigkeit wieder zum Kupfer hergestellt ist. Ein hölzerner Rahmen g, g', 14 Z. lang und 8 Z. breit, welcher auf dem Brete ruhet, trägt in einem Falz 4 eingekittete Tafeln von hellem Glase, deren beide schmälere mit m, m' bezeichnet sind. Da wo sie mit ihren Enden zusammenstofsen, sind sie inwendig und auswendig mit schmalen Papierstreifen zusammengeklebt, und bilden sonach einen oben und unten offenen Kasten, um die Magnetnadel bei feinen Versuchen gegen den unvermeidlichen Luftzug zu sichern. Unten wird dieser Glaskasten von selbst durch das Aufsetzen auf das Brett geschlossen, der obere Rand desselben aber ist theils der grösseren Festigkeit wegen, theils um eine weiche Unterlage zu bilden, mit einem nach beiden Seiten übergeschlagenen, etwa 0,75 Z. breiten Riemen von Gemsenleder überklebt, auf welchem zwei oder drei verschiebbare Scheiben von Spiegelglase n, n' ruhen und oben eine Bedeckung des Kastens bilden, einige Zolle länger und breiter, als dieser ist. Durch die kleinen Zwischenräume dieser Spiegelglasscheiben, da wo sie an einander stofsen, werden die Magnetnadeln an ungezwirnten Seidenfäden aufgehangen herabgelassen, durch ein

kleines, an dem verlängerten Faden hängendes, über die Seite der Scheiben herabgelassenes Gegengewicht balancirt, oder durch ein gröfseres, auf den Scheiben ruhendes Stück Blei am Herabsinken gehindert. Uebrigens lassen sich die Nadeln zwischen den Ritzen der Scheiben nach der einen, und durch das Verschieben der sämmtlichen Glastafeln auf dem weichen Leder des Glaskastens nach der andern Seite hin bewegen. Der Kasten hat unten am Rahmen zwei Ringe, an denen er aufgehoben, und nach Befestigung der Drähte wieder aufgesetzt werden kann, auch läfst sich derselbe nach Befinden auf dem Brette a b rechts oder links, vorwärts und rückwärts schieben, um das Verhalten der Nadel in allen verschiedenen Lagen gegen den elektrischen Leiter zu untersuchen. Endlich steht auch das ganze Brett a b mit seinen vier Füfsen auf einem doppelt so breiten Brette, als es selbst ist, welches dem Apparate zur Unterlage dient, auf seiner einen Hälfte den beschriebenen Apparat trägt, auf der andern Hälfte aber einen zur Erzeugung der Elektricität dienenden oben II. A. 2. beschriebenen Kasten, mit den daselbst erwähnten Trägern und Gabeln, um die Glasröhre, woran die Zinkscheibe befestigt ist, hineinzuhängen. Das letztere gröfsere Brett aber, welches deswegen gewählt ist, damit der Apparat selbst nicht durch die gebrauchten Flüssigkeiten beschmutzt werde, und um verschiedene Drähte und sonstige Sachen darauf zu legen, ruhet auf einem 2 Z. hohen und 12 bis 18 Z. im Durchmesser haltenden Cylinder von Holz, vermittelst dessen das Ganze auf jeden beliebigen Tisch gesetzt, und im Azimuth herumgedrehet werden kann [1].

Bei der Anwendung dieses Apparates zeigen sich die so eben unter No. 1. beschriebenen Erscheinungen in etwas verschiedener Gestalt. Gebraucht man nämlich zuerst die in der Figur gezeichnete horizontale Magnetnadel, welche 2 bis 3 Z. lang aus einer an beiden Seiten zugespitzten, in der Mitte fein durch-

---

1 Diesen Apparat habe ich unter verschiedenen anderen aufgenommen, theils weil er wohlfeil, theils weil er zur Anstellung sehr feiner Versuche mit verschiedenen Apparaten wegen des gegen Luftzug schützenden Glaskastens geeignet ist. Der neueste von Ampère vorgeschlagene allgemeine Apparat ist unten beschrieben. Unter die zweckmäfsigsten einfachen gehört sonst noch vorzugsweise der von Pfaff in seinem mehrerwähnten Werke angegebene, aber ungleich kostbarere.

bohrten, Uhrfeder leicht verfertigt und an einem ungezwirnten Seidenfaden aufgehangen werden kann, so wird diese über und unter dem Drahte schwebend die erwähnten Abweichungen nach Osten und Westen gleichfalls zeigen. Man kann zwar die Nadel nicht völlig mit ihrer Axe unter die Axe des Leitungsdrahtes in eine verticale Ebene bringen, allein dieses ändert den Erfolg nicht ab, da der Faden ohne wesentlichen Nachtheil die Seite des Drahtes berühren darf. Soll hierbei die Gröfse der Abweichung in Graden gemessen werden, so bediene ich mich eines auf Spielcharten-Papier, oder noch besser auf eine sehr dicke und pergamentartige Sorte englischen Papiers (sogenanntes *Bristol stamp*) gezeichneten, 1 bis 2 Lin. breiten, und in Grade getheilten Kreises, welchen ich mit feinen Fädchen auf dem Leitungsdrahte, oder selbst an den Spitzen der Nadel befestige. Der zwischen l, l′ eingespannte Draht bekommt in diesem letzteren Falle gleichfalls ein aufgebundenes Stückchen Papier mit einer Linie, wodurch beim Stillstande der Nadel der Nullpunct der Theilung, und bei ihrer Abweichung die Gröfse dieser letzteren in Graden bezeichnet werden. Um indefs die Erscheinungen des Elektromagnetismus im Allgemeinen zu beobachten, bedarf es der Messung und des hierzu dienenden Ringes nicht. Befindet sich in diesem Falle der Kupferpol im Norden, und ist somit die elektrische Strömung von N. nach S. gerichtet, so wird die über dem zwischen l, l′ ausgespannten Drahte schwebende Nadel westlich abweichen. Bringt man sie dann neben den Draht an die Westseite, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird bei der Schliefsung der galvanischen Kette die Nordspitze stark herabgezogen werden, in ihrer gröfsten Tiefe aber schon das Bestreben nach einer östlichen Abweichung zeigen. Läfst man die Nadel so tief herab, dafs sie sich frei unter dem Drahte hin bewegen kann, so ist ihre Abweichung östlich, und bringt man sie endlich an die Ostseite des Drahtes, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird die Nordspitze beträchtlich in die Höhe gehoben werden, bei ihrer gröfsten Erhebung aber gleichfalls das Bestreben nach westlicher Abweichung äufsern. Es versteht sich von selbst, dafs die Bewegung der Südspitze der Nadel der angegebenen gerade entgegengesetzt sey.

3. Nicht so sehr die hier mitgetheilte Beschreibung, als noch weit mehr der Anblick der Erscheinungen selbst zeigt das

Bestreben der Pole der Magnetnadel, *sich um den horizontal ausgespannten Leitungsdraht im Kreise herumzubewegen.* Schwierig ist es hierbei genau zu unterscheiden, ob die individuelle elektromagnetische Wirksamkeit in dem Leitungsdrahte so vertheilt ist, daſs, wenn man sich einen um die Axe desselben gezogenen Kreis denkt, und diesen in 360 Grade theilt, die in diesem befindliche Nordspitze genau in einem Quadranten östliche, in dem gegenüber liegenden westliche Abweichung, und in den beiden seitwärts befindlichen das Bestreben einer aufwärts und herabwärts gehenden Bewegung zeigt. Um diese für die Theorie nicht ganz unwichtige Frage zu beantworten, legte ich auf die Träger zwischen l, l′ einen 1,5 Par. Lin. im Durchmesser haltenden völlig geraden Draht, damit irgend eine Krümmung desselben auf die Resultate keinen Einfluss haben möchte, schob auf denselben eine mit mehreren concentrischen getheilten Kreisen versehene Scheibe, deren Fläche auf der Axe des Drahtes senkrecht war, balancirte die Nadel völlig horizontal, lieſs im Zustande der Ruhe ihre Spitze den gewählten Kreis der Scheibe fast berühren, um gewiſs zu seyn, daſs sie sich stets in gleichem Abstande von der Axe des Drahtes, beiden Axen einander parallel, befände, und richtete die Scheibe so, daſs die verticale Ebene durch die Axe des Drahtes durch den 45sten Grad der Kreistheilung ging. Der Kupferpol befand sich in Norden, und die Strömung der Elektricität war somit nach Süden gerichtet. Die Resultate der Versuche waren durchaus constant, und zeigten überall keine Abweichung von einander. Berührte die Nordpolspitze in 45° den Kreis, oder lag ihre Axe in einer verticalen Ebene mit der Axe des Drahtes, so war ihre westliche Abweichung dem Augenmaſse nach völlig horizontal; wurde sie aber westlich bis zum 90sten Grade gerückt, wobei sie sich in allen Kreisen noch über der horizontalen, die Oberfläche des Drahtes berührenden Ebene befand, so zeigte sie unverkennbar eine herabgehende Bewegung, obgleich sie nach der ersten Senkung sogleich in einer horizontalen Ebene zu schwingen fortfuhr, aus dem natürlichen Grunde, weil auch die an einem Seidenfaden balancirten Nadeln weit leichter in dieser, als in der verticalen Ebene oscilliren. Der Erfolg war ganz der nämliche, wenn die Nordspitze den 180sten, 270sten und 360sten Grad der Kreise berührte, auch konnte ich, mit Ausnahme einiger Verminderung in der Wirkung, kei-

nen Unterschied wahrnehmen, wenn die Kreise weiter waren, folglich die Axe der Nadel sich in einem gröfseren Abstande von der Axe des galvanischen Leiters befand. Statt des gebrauchten Messingdrahtes schob ich darauf einen flachen Zinkstreifen, 0,8 Z. breit und 0,3 Lin. dick zwischen die Trägerscheiben ll', allein die Bewegungen der Nadel waren denen durchaus gleich, welehe der runde Draht erzeugt hatte, der Streifen mochte mit seiner breiteren Fläche horizontal oder vertical liegen.

Den hier erörterten Erscheinungen analog sind diejenigen, welche ich rücksichtlich des Verhaltens einer kleinen Magnetnadel (ich bediente mich einer stark magnetisirten englischen Nähnadel) beobachtet habe, als ich diese mit ihrer Nordspitze lothrecht über den Leitungsdraht oder zu beiden Seiten desselben höher und niedriger herabsenkte[1]. Die erhaltenen Resultate zeigen im Allgemeinen das Bestreben der magnetischen Pole, sich im Kreise um den Leitungsdraht zu bewegen, sie deuten darauf hin, dafs die um den elektrischen Leitungsdraht anzunehmenden Bogen, in welchen der Pol zur östlichen oder westlichen Abweichung sollicitirt wird, um 90° von demjenigen abstehen, worin sie das Bestreben nach einer aufwärts und niederwärts gerichteten Bewegung äufsert; jedoch läfst sich auf diese Versuche nicht mit Sicherheit ein Schlufs gründen, weil der eigentliche Sitz der gröfsten magnetischen Intensität in einer solchen Nadel nicht sicher bestimmbar ist. Uebrigens fallen diese Erscheinungen mit denjenigen zusammen, welche von verschiedenen Physikern am lothrechten Leitungsdrahte der galvanischen Elektricität gleich anfangs beobachtet wurden, und sogleich näher angegeben werden sollen.

4. Die bisher erzählten Erscheinungen erfolgen auf gleiche Weise, man mag einen dickeren oder dünneren Draht anwenden, der Leiter mag rund, von quadratischem Durchschnitte, bedeutend breiter als dick, massiv oder hohl seyn. Eine runde und eine vierkantige massive Stange zeigten mir mit gleichgestalteten hohlen gleiche Wirkungen bei der Anwendung des mehr erwähnten hleinen Elektromotors. Bedient man sich sehr mächtiger Apparate, so mufs nothwendig eine durch das elektrische Leitungsvermögen des gebrauchten Leiters bedingte Verschiedenheit sichtbar werden, und eben so ist nicht zu erwar-

1 G. LXX. 156.

ten, daſs übermäſsig weite hohle Röhren bei kleinen Elektromotoren nicht endlich einen Unterschied der Wirkung zeigen sollten. Wird ferner statt eines Drahtes ein breites Blech gewählt, so erleiden die angegebenen Erscheinungen einige Modification. Bei der Anwendung ungleich breiter Bleche von Zink nämlich, 6,5 Z.; 3,25 Z.; 1,62 Z.; 0,81 Z.; 0,4 Z. und 0,2 Z., sämmtlich 0,4 Lin. dick, zeigte die Nadel bei den breitesten Stücken, in der horizontalen Lage derselben, eine merklich schwächere Einwirkung auf die Magnetnadel, und auſserdem war zwar die Bewegung der letzteren dann genau horizontal, wenn sie über der Mitte der Bleche schwebte; wurde sie aber mehr an die eine oder die andere Seite gerückt, so ging die Bewegung bei allen Blechen, welche über einen Zoll breit waren, auch dann schon in eine verticale über, wenn die Nadel noch über der Fläche der Leiter schwebte, und bei dem 6,5 Z. breiten Bleche schlug die vertical herabgezogene Spitze der Magnetnadel hörbar auf das Metall auf. Noch auffallender zeigt sich dieses, wenn man die erwähnten Bleche mit ihrer Ebene vertical stellt, in welchem Falle namentlich bei dem 3,25 Z. breiten die an der Seite derselben schwebende Nadel in der Mitte zwar eine genau verticale Bewegung erhielt, bis auf 0,25 Z. aber von der oberen oder unteren Kante abstehend sich völlig horizontal bewegte[1]. Mit gröſseren Elektromotoren habe ich diese Versuche nicht wiederholt, glaube aber nicht, daſs diese einen Unterschied in der Wirkung erzeugen würden.

5. Führt man den elektrischen Leitungsdraht lothrecht vor der Spitze der Declinationsnadel herab, oder bequemer, wenn man einen 0,75 Lin. dicken Draht in dem (oben No. 2) beschrie-
Fig. 63. benen Apparate in das Quecksilber bei e herabsenkt, bei f mit einem Faden festbindet, in lothrechter Richtung zwischen den bedeckenden Glasplatten durchführt, oben aber mit einem feineren, zum Kupfer des Elektromotors herabgehenden Drahte verbindet, also auf diese Weise die ununterbrochene Fortleitung des elektrischen Stromes durch den lothrechten Draht erhält, die Spitze der horizontal hängenden Nadel demselben nähert, diese anfängliche Entfernung der Spitze stets beibehält,

---

1 G. LXXI. 29. Aehnliche noch ausgedehntere Versuche mit nahe übereinstimmenden Resultaten von Seebeck findet man in den Abhandlungen der Berliner Societät der Wissenschaften. Jahr 1820—21. S. 330.

während man den Apparat um die Axe des lothrechten Drahtes im Azimuth in einem ganzen Kreise drehet, und in beliebigen Graden dieses Kreises die Abweichung der Nadel beobachtet; so wird man sich vollständig überzeugen, daſs überall die Abweichung der Nadel gleich und gleich stark ist. Hieraus geht also hervor, *daſs der Pol eines Magnetes um den lothrecht stehenden Leitungsdraht der galvanischen Elektricität, allerorten mit gleicher Kraft bewegt, in einem ganzen Kreise herumläuft*[1]. Um diesen wichtigen Satz im Groſsen und mit Vermeidung eines jeden Einflusses des über und unter der Nadel hingehenden, überhaupt des horizontal liegenden, Drahtes zu prüfen, habe ich ein groſses Gestell aus Latten zusammen gesetzt, einen viereckigen Rahmen, dessen Basis 12 Par. F. die Höhe aber 14 F. betrug. Auf einem an dem einen Ende der Basis auſserhalb hervorragenden Brete stand der kupferne Kasten, wovon der Leitungsdraht ausging, und um den ganzen Rahmen geführt war, worauf dann am andern Ende desselben die festgelöthete Zinkscheibe durch einen Gehülfen in die Säure des kupfernen Kastens getaucht, und sonach die galvanische Kette geschlossen wurde. An derjenigen lothrecht stehenden Latte, woran sich der Elektromotor nicht befand, war der Draht 4 Z. weit nach Auſsen abstehend und hinlänglich gespannt, trug in der Mitte seiner Länge einen durch Reibung auf ihm festsitzenden Arm von Holz, welcher um denselben in einem auf seine Axe lothrechten Kreise ganz herum gedrehet werden konnte, und von dessen anderem Ende die Magnetnadel an einem ungezwirnten Seidenfaden herabhing, also mit ihrer Spitze perpendiculär gegen die Axe des Drahtes gerichtet war. Der ganze Apparat wurde bald rückwärts bald vorwärts um die Axe des eben genannten lothrechten Drahtes durch einen ganzen Azimuthalkreis herum gedrehet, und in den verschiedensten Winkeln die Abweichung der Magnetnadel geprüft, allein das angegebene Gesetz fand ich durchaus bestätigt. OERSTED[2] hat mit einem ähnlichen Apparate diesen Satz gleichfalls bewährt gefunden, und er kann daher als ein unbestreitbarer Hauptsatz in der Lehre des Elektromagnetismus betrachtet werden. Ist

---

1 Poggendorf in Isis 1821. I. 687. Meine Versuche bei. G. LXX. 159. u. v. a.

2 Ann. of Phil. 1822. Febr. G. LXXIII. 278.

übrigens die Richtung des elektrischen Stromes so, daſs er vom Kupfer aus über die Basis hinläuft, dann in die Höhe geht, auf der oberen Latte des Rahmens durch den Draht zurückkehrt, und herabwärts gehend dem Zinke zugeführt wird, so ist die Abweichung der Nordspitze östlich. Wird der hölzerne Arm mit der Magnetnadel um 180° im Horizonte herum gedrehet, so daſs die Südspitze der Nadel gegen den Draht gerichtet ist, so wird die Richtung des Drahtes gegen diese die entgegengesetzte, und da ihre Bewegung allezeit derjenigen der Nordspitze entgegengesetzt ist, so muſs ihre Abweichung jetzt gleichfalls östlich seyn, wie dieses die Erfahrung bestätigt.

Die Versuche zur Auffindung der Wirkungen eines lothrechten galvanischen Leiters wurden gleich im Anfange der Bekanntwerdung dieser wichtigen Entdeckung von Oersted selbst angestellt, durch die Genfer Physiker, durch Ampère und andere wiederholt, an vollständigsten aber durch Pfaff[1] und Faraday[2]. Es zeigte sich hierbei eine anscheinende Anomalie, welche viel besprochen wurde, gegenwärtig aber, nach deutlicherer Einsicht der Sache und also auch in Gemäſsheit der von mir gewählten Darstellung wegfällt, weswegen es genügen wird, das Ganze nur kurz zu berühren, ohne die Resultate der vielen Versuche einzeln anzugeben[3]. Es sey zu diesem Ende Fig. 64. a a′ der horizontale Durchschnitt des lothrechten Leitungsdrahtes, bei welchem die ihn umkreisende Richtung des ablenkenden magnetischen Stromes, oder vielmehr der um ihn in einem Kreise herum laufenden Nordpolspitze der Magnetnadel durch die beiden Pfeile angezeigt ist. Ferner werde angenommen, jedoch ohne dasjenige hierdurch bestimmen zu wollen, was anderweitige Erfahrungen hierüber als ausgemacht darthun mögen, daſs die stärkste magnetische Polarität sich genau in der Spitze der Magnetnadel $\alpha\beta$ befinde, so wird dieselbe in der Lage, welche die Zeichnung angiebt, die durch den vor ihrer Spitze befindlichen Pfeil gleichfalls angedeutete Abweichung erhalten, die wir die westliche nennen wollen, sie mag in der durch $\alpha\beta$ angedeuteten verticalen Ebene dem Drahte mehr genähert, oder weiter von demselben entfernt werden. Wird die Nadel seit-

---

1 a. a. O. S. 55.
2 G. LXXI. 124.
3 Vergl. oben No. 3 am Ende.

wärts geschoben und weiter vorgerückt, so daſs sie eine mit $\alpha\beta$ parallele Lage beibehaltend die Mitte des Drahtes nicht erreicht, so wird die Spitze in a angezogen, in a' aber abgestoſsen werden. Kommt aber der Mittelpunkt ihres eigenen Magnetismus genau dem Mittelpuncte des Durchschnittes des Leitungsdrahtes gegenüber, mithin genau in die Mitte zwischen die beiden gleich starken und einander entgegengesetzten elektromagnetischen Strömungen (oder Bewegungskräfte) zu liegen, so muſs sie nothwendig an jeder Seite des Drahtes, also in a und a' ruhen; den einen Fall hiervon giebt die Nadel $\alpha' \beta'$ an. Wird aber die Nadel noch weiter vorgerückt, so daſs sie an beiden Seiten die an der einen durch $\alpha'' \beta''$ ausgedrückte Lage erhält, so muſs ihre Bewegung die entgegengesetzte werden, also die Anziehung in Abstoſsung übergehen, und umgekehrt. Daſs der Sitz des Centralpunctes des Magnetismus in der Nadel die Entfernung bestimme, wie weit die Nadel vorgerückt werden muſs, um die entgegengesetzte Wirkung zu erzeugen, versteht sich von selbst[1].

6. Wenn man den Leitungsdraht der Elektricität in einer horizontalen Ebene vor der Spitze einer Magnetnadel so hinführt, daſs die Axen beider lothrecht auf einander gerichtet sind, so wird eine auf einer Spitze balancirte Nadel nur einige Unruhe zeigen können, eine am ungezwirnten Seidenfaden hängende aber, oder eine Inclinationsnadel wird sich aufwärts und abwärts bewegen, und zwar folgt aus No. 2, daſs die Bewegung aufwärts gerichtet seyn muſs, wenn der Kupferpol sich im Osten befindet, der elektrische Strom also in westlicher Richtung vor dem Nordpole vorbeiströmt, dagegen abwärts, wenn der Kupferpol sich im Westen befindet, und die Elektricität von hier nach Osten hin vor dem Nordpole vorbeiströmt. Beim Südpole der Nadel ist die Bewegung die entgegengesetzte, wie sich dieses von selbst versteht. Die Erscheinung selbst folgt nothwendig aus dem allgemeinen oben angegebenen Grundgesetze des Elektromagnetismus, indem die aufwärts und abwärts gerichtete Bewegung nur einen Theil des Umlaufens des Poles um den galvanischen Leiter ausmacht.

---

1 Die freie Umkreisung eines magnetischen Poles um den galvanischen Verbindungsdraht und die damit verwandten Erscheinungen übergehe ich hier. Man findet sie unter III. C. No. 9 und ff.

7. Ist der elektrische Leitungsdraht in der angegebenen, mit dem magnetischen Meridiane einen rechten Winkel bildenden Richtung über oder unter der Spitze einer Magnetnadel hingeführt, so fallen zuvörderst alle Bewegungen der Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene von selbst weg, weil keine diese erzeugende Kraft vorhanden ist; bei den in einer verticalen Ebene beweglichen Nadeln dagegen wird die Bewegung um so mehr abnehmen, je weiter der elektrische Leitungsdraht sich von der Spitze nach der Mitte hin entfernt, und in der Mitte derselben, oder vielmehr schon vor derselben da verschwinden, wo die stets abnehmende magnetische Kraft der Nadeln $=0$ wird. Dieser Satz hat seinen Beweis gleichsam in sich selbst, vorausgesetzt, daſs sich der Leitungsdraht nicht in beträchtlicher Entfernung von der Oberfläche der Nadel befinde.

8. Es lassen sich der Vollständigkeit wegen noch die mannigfaltigen Modificationen betrachten, welche die erwähnten elektromagnetischen Erscheinungen erleiden, wenn der Leitungsdraht mit den Magnetnadeln verschiedene Winkel bildet. Um hierüber nicht zu ausführlich zu seyn, mögen nur diejenigen Fälle betrachtet werden, welche bei Magnetnadeln statt finden, die zugleich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus unterliegen, wobei also das weit leichter folgende Verhalten der astatischen Nadeln ganz unberücksichtigt bleibt. Zur leichteren Uebersicht mögen ferner zuerst das Verhalten der Declinationsnadel zur Untersuchung kommen. Die Scheitel der Winkel, welche der elektrische Leiter mit diesen bildet, liegen entweder im Mittelpuncte der Nadel oder an ihrer Spitze. Rücksichtlich der ersteren liegen folgende Erscheinungen unmittelbar bei der Sache. Wenn der elektrische Leiter zuerst in einer verticalen Ebene und parallel mit der Axe der Nadel über derselben hingeführt ist, so wird die Nadel eine der elektrischen Wirksamkeit proportionale Abweichung erhalten, welche eine östliche seyn möge. Folgt man demnächst der Nadel mit dem Leiter, die Drehungsaxe im Centro derselben angenommen, so muſs die Nordspitze durch O. bis S. getrieben werden, und sobald sie über diesen Punct hinausgekommen ist, wird sie das Bestreben äuſsern, wieder nach N. zurückzukehren, woran sie indeſs durch die Einwirkung der andern Seite des Drahtendes gehindert wird, indem diese die Nadelspitze nach der entgegen-

gesetzten Seite sich zu bewegen sollicitirt. Den Winkel, welchen die Nadel mit dem ihm folgenden Drahte bildet, für jede Richtung einzeln zu bestimmen, würde sehr weitläuftige Rechnungen erfordern, anfangs aber wird derselbe demjenigen gleich seyn, in welchem die Nadel unter dem Leiter bei geschlossener Kette zum Stillstande kommt. Insofern aber der Leitungsdraht, wenn man die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter aus fortschreitend annimmt, den Nordpol der Nadel von der rechten Seite her anzieht, unter sich fortführt, und nach der linken Seite hin abstöſst, so folgt aus mechanischen Gesetzen im Allgemeinen, daſs sowohl die anziehende als auch die abstoſsende Kraft des Leitungsdrahtes mit der Gröſse des Winkels abnehmen wird, welchen die Nadel mit ihm bildet. Bei schwacher Elektricität kann auch dieser Winkel leicht eine solche Gröſse erhalten, daſs die Wirkung gänzlich verschwindet, ist aber die elektrische Strömung stärker, dann kommen noch sonstige Bedingungen hinzu, welche die Erscheinungen abändern. Befindet sich nämlich die Magnetnadel im magnetischen Meridian, der Leiter über derselben, wir wollen annehmen, die Strömung sey von NO. nach SW. gerichtet uud gehe über dem Mittelpuncte der Nadel hin, so wird der in NO. befindliche Theil den Nordpol anziehen, der in SW. dagegen den Südpol anziehen. Beide Kräfte werden im Minimo ihrer Wirksamkeit seyn, wenn der Leitungsdraht löthrecht auf die Axe der Nadel gerichtet ist, oder die Strömung von O. nach W. geht. Wirkten nun die magnetischen Kräfte der Nadel bloſs in der Richtung ihrer Axe, die des Leitungsdrahtes in einer auf seine Axe normalen Richtung, so müſste die Nadel dann zum Stillstande kommen. Beides ist aber nicht der Fall, und obgleich bei der angegebenen Lage die ganze rechte Seite des Leiters den Nordpol, die ganze linke dagegen den Südpol anzieht, also bei vollkommen lothrechter Richtung die Summen dieser gleichen Kräfte sich aufheben müſsten, so ist doch ein solches Gleichgewicht physisch unmöglich, vielmehr muſs bei der geringsten Abweichung von dieser genau perpendiculären Richtung eine Bewegung des Nordpoles der Nadel entweder durch O. oder durch W. anfangen, und dann wird sie nicht früher zum Stillstande kommen, als bis sie völlig umgekehrt ist, wobei die linke Seite des Leiters auf den Nordpol, die rechte auf den Südpol derselben abstoſsend wirkt. Hiermit stimmt die Beobachtung voll-

kommen überein[1]. Es scheint mir überflüssig, die hieraus nothwendig hervorgehende Folgerung eben so ausführlich zu entwikkeln, daſs bei der Richtung des elektrischen Stromes vom magnetischen W. nach O. oberhalb der Nadel gar keine Bewegung derselben erfolgen kann, auch bedarf es kaum der Erwähnung, daſs die Wirkungen des Leiters die entgegengesetzten sind, wenn er *unter* der Nadel hingeführt ist. Hiermit übereinstimmend ist dann auch das von Seebeck[2] beobachtete Phänomen, daſs ein auf Quecksilber schwimmender Magnetstab unter dem galvanischen Leitungsdrahte sich mit seinem Indifferenzpuncte einstellt.

Bildet dagegen die *Spitze der Magnetnadel* mit dem Leitungsdrahte einen Winkel, so kommen unter den verschiedenen möglichen Lagen der Axen des Drahtes und der *Declinationsnadel* zunächst nur diejenigen in Betrachtung, wobei die Nadelspitze unter oder über dem Leitungsdrahte sich befindet, und die Axen der Nadel und des Drahtes in einander parallelen horizontalen Ebenen liegen. Ohne über diese und die sonstigen Fälle in weitläuftige Rechnungen einzugehen, ergiebt sich bald, daſs für die angegebene Lage die Stärke der Bewegung der Gröſse des Winkels umgekehrt proportional seyn, und bei 90° verschwinden wird. Alle übrigen Erscheinungen folgen dann von selbst, wenn man nur die Richtung vor Augen hat, in welcher die Nadelspitze um den elektrischen Leiter zu laufen sollicitirt wird, weswegen diese Aufgabe keine weitere Untersuchung der einzelnen, unter sie gehörigen Fälle bedarf. Eben so wenig würde es sich der Mühe belohnen, das Verhalten der *Inclinationsnadel* für die verschiedenen Winkel einzeln anzugeben, welche der Leitungsdraht mit ihr bilden kann, die Scheitel derselben gleichfalls in der Drehungsaxe der Nadel liegend oder mit ihrer Spitze gebildet angenommen. Man darf nämlich nur berücksichtigen, daſs bei dieser Nadel nur diejenigen Winkel in Betrachtung kommen, welche in verticalen Ebenen liegen, und nach der Voraussetzung, daſs die Wirkungen des elektrischen Leiters in seinem ganzen Umfange einander gleich sind (nach No. 2) mit denjenigen zusammenfallen, welche

---

1 Vergl. Pfaff a. a. O. S. 88 u. 215. Bechstein bei G. LXVII. 371. Gilbert ebend. LXVI. 331. A. van Beck bei G. LXVIII. 306.

2 Schweigg. Journ. XXXII. 30.

so eben für die Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene nachgewiesen sind[1].

Biot hat endlich auch den Fall untersucht, wenn statt eines lothrecht vor der Spitze der Magnetnadel herabgeführten Leiters ab ein in einem gewissen Winkel $\alpha\mu\gamma$ gebogener dieselbe bewegt. Das Resultat dieser mit groſser Sorgfalt angestellten Versuche ergab, daſs die bewegende Kraft allezeit dem Winkel der Biegung proportional ist, daſs folglich die Biegung an sich auf die Wirksamkeit eines jeden einzelnen Elementes des galvanischen Leiters keinen Einfluſs hat. Es lassen sich hiervon Anwendungen auf die Gesammtwirkung der wiederholten Windungen bei den Multiplicatoren machen[2]. Fig. 65.

9. Die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit eines galvanischen Leiters wird durch die Gröſse des Winkels bestimmt, bis zu welcher er die Nadel anzieht oder abstöſst[3]. Eine solche Messung kann aber nur für diejenigen Fälle statt finden, in denen die Nadel zum Stillstande kommt, indem die Oscillationen, welche dieselbe beim wiederholten Oeffnen und Schlieſsen des Kreises macht, kein eigentliches Maſs angeben, und auch schwache Apparate bei gehöriger Geschicklichkeit des Experimentators die Nadel leicht durch einen ganzen Kreis herumschleudern. Weil aber die Elektromotoren ihre Kraft nicht auf die Dauer behalten, und man sie nicht mit Sicherheit von einer bestimmten Stärke erhalten kann, so läſst sich auf diesem Wege das Gesetz der magnetischen Abstoſsung nicht ohne bedeutende Schwierigkeiten auffinden. Inzwischen hat G. G. Schmidt[4] aus eigenen sinnreichen Versuchen, indem er in möglichst kurzen Zwischenräumen zuerst den Abstoſsungswinkel der Declinationsnadel und dann der Inclinationsnadel maſs, desgleichen aus der Berechnung der früheren Versuche von Gilbert und vorzüglich von Bechstein folgendes Gesetz abgeleitet: *„die mittlere Richtung der abstoſsenden oder anziehenden „Kraft eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel geht*

---

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 38.

2 Biot Précis élémentaire de Physique. II. 740.

3 Berechnungen der abstoſsenden Kraft des elektrischen Leiters, verglichen mit der des tellurischen Magnetismus von Kaemtz. S. Schweigger Journ. XXXVIII. 100.

4 G. LXX. 249.

„perpendiculär von der Richtung des Stromes nach den Po-„len der Magnetnadel, und steht im verkehrten Verhältnisse „der perpendiculären Abstände des Stromes von den Polen der „Magnetnadel." Dieses Gesetz, welches auch HANSTEEN aus den oft erwähnten Seebeck'schen Versuchen fand[1], BIOT und SAVART aber aus den Schwingungszeiten von Magnetnadeln in verschiedenen Abständen vom Schliefsungsdrahte ableiteten[2], hat SCHMIDT später aus dem anderen gefolgert, *„dafs „jeder einzelne Punct des elektrischen Stromes die Pole der „Magnetnadel im verkehrten Verhältnisse der Quadrate der „Entfernungen anziehe oder abstofse[3]."*

Auch BARLOW will dieses Gesetz durch seine Versuche mit HARE's Calorimotor bestätigt gefunden haben, drückt es aber so aus, dafs die eigenthümliche Wirksamkeit der hierbei thätigen Potenzen näher bezeichnet wird, als wozu uns die Versuche bis jetzt berechtigen. Er nimmt nämlich an, dafs jedes Theilchen des galvanischen Fluidi im leitenden Drahte auf jedes Partikelchen des magnetischen Fluidi in der Nadel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft wirke, jedoch weder anziehend noch abstofsend, sondern mit einer in beiden Flüssigkeiten reciprok wirkenden Tangentialkraft, welche die Pole derselben in einem rechten Winkel unter einander und mit dem berührenden Puncte bewegt[4].

BIOT und SAVART[5] untersuchten nicht blofs die Stärke der magnetischen Wirksamkeit, welche ein massiver galvanischer Leiter gegen eine horizontal schwebende Magnetnadel in verschiedenen Abständen äufsert, und verglichen diese mit der Wirkung des tellurischen Magnetismus, sondern sie fanden auch eine kupferne Röhre von 43 Millim. Durchmesser bei dem nämlichen Elektromotor wirksamer als einen massiven Draht von 0,84 Millim. Durchmesser, und zwar im Verhältnifs von 1,25324 : 1, entweder weil eine Röhre zur Erregung des Magnetismus

1 G. LXX. 178.

2 Biot Précis élémentaire de physique exp. Par. 1824. II. 707. Vergl. G. LXVI. 392.

3 Dieses nämliche Gesetz fand LA PLACE aus den Versuchen von BIOT und SAVART. S. Biot a. a. O. S. 741.

4 Edinburgh Phil. Journ. VII. 281. Vergl. unten IV. D. 5.

5 a. a. O. S. 735.

tauglicher ist, oder wahrscheinlicher weil sie die Elektricität in grösserer Menge durchleitet.

Da die absolute Grösse des Winkels, bis zu welcher die Magnetnadel durch den elektrischen Leiter abgestossen wird, der Stärke des erregten Magnetismus proportional ist, letztere aber von der elektrischen Wirksamkeit der gebrauchten Apparate abhängt, so hat man sich dieses Mittels vielfach bedient, um die elektrische Thätigkeit der angewandten Elektromotoren und die Leitungsfähigkeit der gebrauchten Flüssigkeiten wie auch der die Metalle verbindenden Leiter zu erforschen. Alle diese Untersuchungen gehören aber nicht hierher, und werden daher nur beiläufig erwähnt.

Die absolute Entfernung, bis auf welche die Verbindungsdrähte mächtiger Elektromotoren ihre Wirkungen auf die Magnetnadel fortpflanzen, ist unglaublich grofs. Seebeck hat, so viel mir bekannt ist, bishero die gröfste Weite beobachtet, indem er bei einem Abstande von 10 F. noch eine Abweichung der Magnetnadel bis 4 Grade betragend wahrnahm[1], und es leidet keinen Zweifel, dafs gröfsere Apparate ihre Wirkungen noch weiterhin ausdehnen.

10. Es folgt aus den bisher angegebenen Erscheinungen von selbst, dafs die Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel verdoppelt werden mufs, wenn man denselben zuerst über der Nadel parallel mit ihrer Axe hinführt, dann umbeugt, auf gleiche Weise rücklaufend unter der Nadel hinzieht, und so beide Enden mit den beiden heterogenen Metallen des Elektromotors verbindet. Schweigger[2], und, durch eine Andeutung von diesem geleitet, Poggendorf[3] benutzten dieses Mittel zur Verstärkung der elektromagnetischen Wirkungen durch den elektromagnetischen *Multiplicator*. Die Construction dieses höchst wichtigen Werkzeuges ist auf das eben angegebene einfache Princip gegründet, dafs der zurücklaufende galvanische Leitungsdraht auf die entgegengesetzte Seite der

1 Schweigg. Jour. XXXII. 31. Berliner Denksch. a. a. O. S. 304.

2 Journ. XXXI. 1 ff. XXXII. 47.

3 Erman Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. 8. S. 105. Vergl. G. LXVII. 429. Es leidet keinen Zweifel, dafs Schweigger der eigentliche Erfinder des Multiplicators sey.

Magnetnadel bei gleichem Abstande eine hinsichtlich der Richtung und der Stärke gleiche Wirkung hervorbringen muſs. Könnte man den galvanischen Leitungsdraht auf gleiche Weise und in gleicher Entfernung von der Axe der Nadel nochmals um dieselbe herumführen, so müſste die ursprüngliche einfache Wirkung jetzt abermals verdoppelt oder durch abermalige Zurückführung im Ganzen vervierfacht werden; allgemein aber gäben dann n Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes eine 2n fache Wirkung, die des einfachen über oder unter der Nadel hingeführten Leiters als Einheit angenommen. Aus dieser allgemeinen Darstellung ergiebt sich, daſs das angegebene Verfahren nur bei Elektricität von geringer Spannung anzuwenden sey, weil jede einzelne Windung des Leitungsdrahtes isolirt seyn muſs, damit sie nicht mit der neben oder über ihr liegenden einen gemeinschaftlichen Leiter, und somit ein einfaches leitendes Element bilde; daſs aber zugleich, unter der Bedingung einer möglichen Isolirung, die Zahl der Windungen ausnehmend vermehrt werden kann, wodurch dann eine dieser proportionale Vervielfachung der elektromagnetischen Wirksamkeit mit gehöriger Rücksicht auf die nothwendig vergröſserte Entfernung der vermehrten Windungen von der Nadel gegeben wird. Hieraus folgt indeſs von selbst, daſs der Multiplicator die elektromagnetischen Erscheinungen weder abändert noch im eigentlichen Sinne eigenthümlich modificirt, sondern lediglich verstärkt, und hierdurch die wegen ihrer Kleinheit sonst nicht wahrnehmbaren wahrnehmbar macht. Sofern aber die elektromagnetischen Erscheinungen bloſs Folge der erregten Elektricität sind, so müssen die kleinsten Spuren der ersteren auch ein Vorhandenseyn der letzteren anzeigen; der Multiplicator tritt somit aus der Sphäre des *Elektromagnetismus* heraus, und wird zu dem feinsten bis jetzt bekannten *Elektroskope* für *galvanische Elektricität*. Auſser der Angabe des Princips, worauf derselbe beruhet, gehört also die vielfache Anwendung desselben unter den Artikel *Galvanismus*, die verschiedene, mehr oder minder zweckmäſsige Construction desselben wird aber besonders angegeben werden, nebst einer Untersuchung über die durch denselben zu erhaltende Verstärkung der elektromagnetischen Kraft eines gegebenen Elektromotors[1]. Unter die ähnli-

---

1 S. *Multiplicator, elektromagnetischer.*

chen Apparate gehören FARADAY's Ring[1], die Spiralen, schraubenförmigen Windungen u. s. w.

11. Eine dem Multiplicator ähnliche, und gleichfalls nicht uninteressante Form erhielt der galvanisch - elektrische Leitungsdraht durch AMPÈRE. Dieser ging hierbei von seiner gleich anfangs aufgestellten Theorie aus, wonach im elektromagnetischen Leitungsdrahte die polare Richtung des Magnetismus auf den elektrischen Strom normal gerichtet seyn soll. Um daher die Polarität dieses Leitungsdrahtes zu verstärken, bog er denselben von einem Puncte ausgehend durch mehrere Windungen zu einer in einer geraden Fläche liegenden Spirale mit gleichem Abstande der Windungen von einander. Ist der hierzu gewählte Draht etwas stark und die Zahl der Windungen nicht groſs, so erhält sich die Spirale in der geraden Fläche und ohne Berührung der einzelnen Windungen durch die Steifheit des Drahtes. Man kann aber auch nach v. ALTHAUS[2] eine kreisrunde Scheibe von Pappe mit Siegellack überziehen, durch den Mittelpunct derselben den gewählten Draht stecken, am besten Kupferdraht, welchen man unter dem Namen des *unächten Silberdrahtes* mit einem dünnen Ueberzuge von Silber erhält, letzteren aber durch Ausglühen und Abreiben mit etwas Kreide und Papier oder auch durch bloſses Abreiben fortschafft, wenn man dieses wünscht, dann denselben um dieses Ende in spiralförmigen Windungen, etwa eine Linie von einander abstehend, herumführen, bis die ganze Kreisfläche auf solche Weise übersponnen ist, endlich aber die an keiner Stelle sich berührenden Windungen sämmtlich durch ein heiſses Eisen in das Siegellack eindrücken. Am besten kann man sich, wie ich glaube, diese interessanten Apparate auf folgende Weise verfertigen. Man nimmt den genannten Silberdraht von 0,1 bis etwa 0,2 Lin. Dicke, oder noch stärker, wenn man bei der Anwendung groſser Elektromotoren das Glühen vermeiden will, läſst diesen mit Seide überspinnen, biegt ihn einige Fuſs vom einen Ende recht winklich um, windet mit Hülfe einer Spitzzange um diese Biegung die erste Windung, und befestigt sie an ihrem Ende vermittelst eines seidenen Fadens, fädelt diesen in eine Nähnadel, und

1 G. LXXI. 158.

2 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelb. 1821. S. 13.

während man fortfährt, um diese erste Windung die folgenden zu biegen, so befestigt man sie an einander durch Umschlingen des Seidenfadens. Hat man auf diese Weise eine hinlängliche Menge Windungen hergestellt, so wird ein Messingdraht von 0,5 bis 1 Lin. dick in einen etwa eine Linie gröfseren Kreis gebogen, als welchen die Scheibe einnimmt, an den zusammenstofsenden Enden zu einem Ringe zusammengelöthet, die Scheibe vermittelst Seidenfäden dazwischen ausgespannt, das letzte Ende des besponnenen Drahtes aber nach Zwischenlegung eines Stückchens Seidenzeug am Ringe festgebunden. Das erste Ende des Drahtes kann freihängend bleiben, für einige Versuche aber mufs dasselbe, um seinen Einflufs gegen den der Scheibe verschwinden zu machen, auf die letztere herabgebogen, und an dem messingenen Ringe dem letzten Ende diametral gegenüber fest gebunden werden. Diese Verfertigungsart ist etwas langwierig, allein da die einzelnen Windungen nur so weit von einander abstehen müssen, dafs zum Umschlingen des Seidenfadens die Nadel bequem durchgesteckt werden kann, so läfst sich auf diese Weise in einer nicht übermäfsig grofsen Scheibe eine sehr bedeutende Anzahl Windungen vereinigen, auch ist der umgebende Messingdraht bei Scheiben von 2 bis 3 Z. Durchmesser überflüssig, und kann unbedenklich nicht übersponnener Draht gewählt werden, wenn man die einzelnen Windungen desselben durch eine hinlängliche Menge Umschlingungen des Seidenfadens hinlänglich trennt.

Von den Erscheinungen, welche diese Spiralscheibe darbietet, können hier nur die Wirkungen derselben auf die Magnetnadel erwähnt werden. Diese lassen sich insgesammt kurz zusammenfassen, wenn man sagt, dafs die Spiralscheibe durch den galvanischelektrischen Strom an ihren beiden Flächen entgegengesetzt magnetisch wird, oder einen zweipoligen Magnet darstellt, indem ihre Polarität vom Rande an nach der Mitte hin wächst, und im Mittelpuncte selbst das Maximum ihrer Intensität erreicht. Mag dieselbe daher horizontal niedergelegt, oder vertical aufgehangen werden, und wie man dieselbe in beiden Lagen auch um ihr Centrum bewegt, stets wird die eine Fläche derselben nördliche, die andere dagegen südliche Polarität zeigen, so lange der Strom der Elektricität der nämliche bleibt. Denkt man sich übrigens die Scheibe der leichteren Vorstellung wegen in einer durch den magnetischen Meridian

lothrechten Ebene aufgehangen, die elektrische Strömung vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden durch die äufserste Windung gehend und sofort zuletzt dem Zinkpole wieder zuströmend, so wird die nach Osten gerichtete Fläche nördliche, die entgegengesetzte aber südliche magnetische Polarität zeigen. Uebrigens ist die letztere auch bei kleinen Elektromotoren, z. B. dem mehrgenannten kupfernen Kasten, so stark, dafs die Scheibe von Osten nach Westen, also auf die magnetische Mittagslinie senkrecht gerichtet, fein balancirte 3 bis 4 zöllige Magnetnadeln ganz umkehrt, und deren Spitze in ihrem Mittelpuncte festhält.

12. Seebeck[1] hat eine ganz eigenthümliche Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel beobachtet, welche späterhin von andern, so viel ich weifs, nicht weiter untersucht ist. Werden die beiden Elemente des einfachen Fig. 66. Volta'schen Apparates Kupfer und Zink durch eine Flüssigkeit F getrennt, und durch einen mitten über die Zinkplatte parallel mit ihrer Ebene hingeführten Metalldraht geschlossen, die Richtung desselben von Nord nach Süd angenommen, so wird die Nadel unter diesen Draht gestellt mit ihrem Nordpole östliche Abweichung zeigen, welche in dem Verhältnisse abnimmt, als man sich weiter vom Leitungsdrahte entfernt. Stellt man die Nadel über den Draht, so ist die Abweichung westlich, nimmt ab, wenn man die Nadel in eine gewisse Entfernung vom Leitungsdrahte bringt, wird endlich 0 und geht in östliche Abweichung über. Je näher die horizontale Ebene, worin man die Nadel östlich und westlich bewegt, dem Leitungsdrahte liegt, desto kleiner ist nach beiden Seiten desselben die Fläche, innerhalb deren die Declination westlich bleibt. Zieht man durch diejenigen Puncte, in denen die Declination verschwindet, eine Linie, so gleicht diese einer Hyperbel. Seebeck leitete die Fig. 67. Ursache dieser Erscheinung aus der Einwirkung der gleichfalls elektromagnetische Wirkungen zeigenden oberen Zinkplatte ab, und fand auch, dafs die zwei Elektromotoren, wenn sie durch Fig. 68. eine Flüssigkeit getrennt und durch einen metallischen Bügel *a* verbunden sind, ähnliche Wirkungen, als ein elektromagnetischer Leiter zeigen.

---

1 Abhandl. der Berl. Akad. Jahr 1820—21. S. 289. Schweigg. Journ. XXXII. 31.

Diese Erscheinungen, welche SEEBECK mit seinem bekannten Scharfsinne der von ihm aufgestellten Theorie gemäfs zu erklären sucht, schienen mir viel zu wichtig, als dafs ich sie für den Zweck der vorliegenden umfassenden Untersuchung dieses schwierigen Gegenstandes nicht hätte wiederholen sollen. Ein so grofser Apparat, als der von SEEBECK gebrauchte, stand mir dabei zwar nicht zu Gebote, allein die Wirkung des meinigen war gewifs stark genug, um die Frage eben so sicher als vollständig zu entscheiden. SEEBECK's Apparat nämlich bestand aus einer einzigen Kupfer- und einer Zink-Platte, jede 5,3 Quadratfufs haltend, und durch eine Auflösung von Kochsalz und Salmiak, oder durch verdünnte Schwefelsäure, verbunden; dagegen hatten die von mir gebrauchten Platten nur 18 Par. Zoll Seite, allein die Flüssigkeit, womit die zwischenliegende Tuchscheibe stark getränkt war, bestand aus einer Mischung von Salpetersäure und verdünnter Schwefelsäure. Zur Sicherheit lag die untere Kupferscheibe auf einer isolirenden Glastafel, und die Zinkscheibe wurde zur Verstärkung des Effectes vermittelst schwerer Gewichte angedrückt.
Fig. 66. Der Draht b a von Messing und 0,2 Par. Lin. im Durchmesser haltend, wurde durch einen Gehülfen straff angezogen, so dafs er überall etwa eine Linie von der Fläche der Zinktafel abstand. Dabei schien es mir besser, ihn nicht unmittelbar und bleibend auch mit der Kupferplatte zu verbinden, sondern bei γ stand ein kleines Gefäfs mit Quecksilber, in welches der am Kupfer festgelöthete Draht bleibend herabging, der an die Zinkplatte bei b angelöthete aber abwechselnd eingetaucht wurde, um die Wirkung desselben bei offener und geschlossener Kette zu beobachten. Als ich auf den Verbindungsdraht eine 3 Z. lange, auf einer 0,75 Z. hohen Spitze schwebende Magnetnadel stellte, war die westliche Abweichung so stark, dafs die Nadel beim Schliefsen der Kette einigemale in einem ganzen Kreise umlief. In einiger Entfernung östlich und westlich vom Verbindungsdrahte hörte indefs die Wirkung auf, ich glaubte auch die erwartete östliche Abweichung zu entdecken, allein als ich mich bemühete, die Ordinaten der durch SEEBECK gefundenen Curve genau zu messen, wurden die Erscheinungen so abweichend und regellos, dafs ich nach einigen vergeblichen Bemühungen den Gebrauch der auf der Spitze balancirten Nadel aufgab, um mich einer 4 Z. langen, an einem ungezwirnten Seidenfaden

balancirten, in einer Glasglocke herabhängenden, bediente. Hiermit wurde die Sache bald klar, und es zeigte sich mit einer über alle Zweifel erhabenen Gewiſsheit, daſs hierbei bloſs der Leitungsdraht b a wirksam sey. Ueber diesem zeigte die Nadel in seiner ganzen Länge und mit einiger nach a hin zunehmenden Stärke die regelmäſsige westliche Abweichung, in einer Entfernung von demselben sowohl östlich als westlich fing aber die verticale Bewegung der Nadelspitzen, dort der nördlichen, hier der südlichen, an, und wurde in 2 Z. Abstand so stark, daſs die Spitzen auf der Zinkscheibe fest zu hängen schienen. In gröſseren Entfernungen war das Herabziehen schwächer, aber doch unverkennbar, und hier traten dann allerdings die leichteren horizontalen Schwingungen ein, welche ohne genauere Bekanntschaft mit diesen Erscheinungen allenfalls für östliche Abweichungen gehalten werden konnten.

Daſs die Sache sich genau so verhalte, wie sie hier angegeben ist, wird jeder finden, welcher die Versuche zu wiederholen sich geneigt fühlt. Ob bei Seebeck's Versuchen die östlich und westlich vom Leitungsdrahte gestellte Magnetnadel vielleicht *unter* die horizontale Ebene des Leitungsdrahtes gekommen sey, und daher östliche Abweichung gezeigt habe, wage ich nicht zu bestimmen, allein ich bin mehr geneigt, dieses zu glauben, als der Zinkplatte einen die Wirkungen des Leitungsdrahtes störenden Einfluſs beizulegen, auch kann ich mir nicht denken, daſs der Draht in der Zinkplatte eigenthümlichen, und dem seinigen entgegengesetzten Elektromagnetismus hervorgerufen haben sollte; wenigstens würde dieses mit allen bisherigen Erfahrungen im Widerspruche stehen. Dürfen wir aber dieses nicht annehmen, so zeigen die folgenden Versuche, daſs die Volta'schen Platten, mindestens die Zinkplatte, zwar einigen, aber einen fast verschwindenden Elektromagnetismus annehmen, und es ist überhaupt noch zweifelhaft, ob ein solcher überall in ihnen erregt wird.

Um dieses zu prüfen, bauete ich den Apparat nach der zweiten, durch Seebeck angegebenen Art auf, jedoch gleichfalls mit der Abänderung, daſs der Draht α aus zwei Theilen bestand, welche von der Zink- und Kupferplatte ausgehend in ein kleines Gefäſs mit Quecksilber gesenkt wurden. Diesesmal bestand der Verbindungsdraht aus Kupfer (unächter Silberdraht) 0,3 Par. Lin. Durchmesser haltend, und der Strom der Elektri- Fig. 68.

cität war so stark, daſs ich den Draht anfangs wegen zu groſser Hitze nicht mit bloſsen Fingern berühren konnte. Die Länge des vom Zink ausgehenden Endes betrug 4,5 Z., des an das Kupfer gelötheten 1,5 Z., und in der Biegung war die Hitze am stärksten. Wurde die an dem Seidenfaden aufgehangene Nadel auf die Zinkplatte herabgelassen, so zeigte sich an der Nordseite derselben allerdings eine starke Abweichung, allein man konnte bald wahrnehmen, daſs diese Wirkung durch den Einfluſs des Verbindungsdrahtes erzeugt wurde, denn sie änderte sich nach der Richtung, in welche dieser gebogen wurde, und verschwand schon, wenn die Nadel über der Mitte der Scheibe schwebte, und der Draht in der Richtung von Osten nach Westen horizontal gebogen, und rückwärts laufend in das Quecksilber gesenkt wurde. Um eine noch feinere Messung zu erhalten, nahm ich eine höchst empfindliche, aus einer Uhrfeder möglichst dünn geschliffene, 2,25 Z. lange und in der Mitte 1 Lin. breite, an einem Spinnfaden aufgehangene Nadel von der Art, wie v. Yelin sie bei seinen thermo-elektrischen Versuchen gebraucht. Diese zeigte denn allerdings über der ganzen Oberfläche der Zinkscheibe, auch an der südlichen, vom Verbindungsdrahte am weitesten entfernten Seite unverkennbare Abweichungen, welche aber nicht mehr als etwa 5 Grade betrugen, und so daſs wegen der beim Schlieſsen der Kette unvermeidlichen Erschütterung kaum genau unterschieden werden konnte, ob die Abweichung östlich oder westlich war, auch läſst sich hiernach nicht bestimmen, ob sie durch die Platte oder durch den Schlieſsungsdraht erzeugt wurde. Inzwischen bin ich meinerseits durchaus nicht zweifelhaft, daſs Letzteres der Fall war.

13. Der Leiter der Elektricität bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, welcher das elektrische Fluidum in einem bleibenden Strome entweder vom ersten oder vom zweiten Conductor zur Erde überführt, oder auch das Gleichgewicht zwischen beiden wieder herstellt, auch wenn derselbe durch einen Multiplicator verlängert und wirksamer gemacht wird, bringt auf die Magnetnadel keine der bisher beschriebenen Wirkungen hervor. Viele Physiker haben Versuche hierüber gemacht, am umfassendsten sind diejenigen, welche C. H. Pfaff[1] mit einer

---

1 Der Elektromagnetismus. S. 184. Aehnliche von Seebeck S Berlin. Denksch. a. a. O. S. 333.

sehr kräftigen Maschine und unter verschiedentlich abgeänderten Bedingungen anstellte, ohne das geringste Resultat zu erhalten. Indem nun die Gleichheit des Wesens beider Elektricitäten anderweitig genügend nachgewiesen ist, und auch sonstige elektromagnetische Wirkungen durch die Reibungselektricität hervorgebracht werden, so hat man sich viel bemühet, die Ursache aufzufinden, warum sie in dieser Form ganz ausbleiben. Man könnte annehmen, der elektrische Strom durchlaufe den Leitungsdraht zu schnell, um der Nadel die erforderliche Zeit zur Bewegung zu gestatten, allein hierin kann der Grund nicht liegen, indem Pfaff in dem von ihm gebrauchten Drahte allezeit noch einige Spannung der Elektricität antraf, die sich dem sehr genäherten Finger in kleinen Funken mittheilte, ohngeachtet der statt findenden vollkommenen Ableitung. Pfaff ist vielmehr geneigt zu glauben, daſs eben die stärkere Spannung der Elektricität die Wirkung hindert. Zur weiteren Erläuterung dieser Frage diene vorläufig Folgendes[1]: Die Reibungselektricität scheint mir dann der galvanischen am nächsten zu kommen, wenn sie in einer Flasche aufgehäuft einseitig abgeleitet wird. Deswegen lud ich eine Flasche von 3,5 Quadratfuſs Belegung, stellte eine an einem Spinnefaden aufgehangene feine Nadel auf einen Multiplicator von 120 Windungen, setzte das eine Ende seines Drahtes mit der äuſseren Mauer des Hauses in leitende Verbindung, näherte die Spitze des andern vermittelst einer isolirenden Glasstange dem Knopfe der Flasche, und erhielt kaum wahrnehmbare, auf allen Fall 5° nicht übersteigende Abweichungen der Nadel, jedoch nur unter den günstigsten Umständen und nicht allezeit sicher[2].

B. Wirkung des elektrischen Leiters auf unmagnetischen Stahl und auf Eisen.

Aus den im vorhergehenden Abschnitte mitgetheilten Erscheinungen geht sehr einleuchtend hervor, daſs dem verbindenden Metalle zweier Elektromotoren in Folge der durchströmenden Elektricität zwar ein Magnetismus eigenthümlicher Art, *jedoch* ein ganz eigentlicher und unverkennbarer mitgetheilt *werde*. Ist dieses wirklich der Fall, so muſs der Verbindungs-

1 Vergl. unten III. B. 18.
2 Die weitere Erklärung S. unter Theorie.

draht auch die beiden bekannten magnetischen Eigenschaften zeigen, daſs er Eisen oder Stahl anzieht, und letzteres magnetisch macht. Wird zuvörderst die erste Erscheinung allein berücksichtigt, so gehören bedeutend starke Elektromotoren dazu, wenn der Magnetismus im Leitungsdrahte so gesteigert werden soll, daſs ein wirkliches Festhalten des Eisenfeilicht erfolgt; indeſs ist dieses Phänomen von so vielen Physikern beobachtet, daſs die Sache selbst keinem Zweifel unterliegt, und die Resultate der verschiedenen Versuche verdienen hauptsächlich nur in sofern eine nähere Betrachtung, als die Erscheinungen entweder durch ihre Stärke oder durch die erhaltenen individuellen Figuren ausgezeichnet waren, und hiernach zur Begründung einer angemessenen Theorie beizutragen vermögen.

1. Arago war wohl der erste, welcher bei seinen Versuchen mit einem mächtigen Volta'schen Apparate die wichtige Entdeckung machte, daſs der Schlieſsungsdraht eine bedeutende Menge Eisenfeilicht anzog und gleich einem Magnete festhielt[1]. Wurde derselbe in Eisenfeilicht getaucht, so belud er sich mit demselben bis zur Dicke eines Federkieles, lieſs es aber sogleich wieder fallen, als er auſser Verbindung mit den beiden Polen der Säule kam, auch nahm die getragene Menge mit der Wirksamkeit der Säule ab. Die Wirkung zeigte sich auch in einiger Entfernung, und war übrigens bei Drähten von Platin, Kupfer, Silber, Messing völlig gleich. Seebeck[2] beobachtete nicht bloſs das Anhängen des Eisenfeilicht überhaupt, sondern fand auch, daſs dasselbe um den lothrechten Draht concentrische und über einander parallel liegende Ringe bildete, beim horizontalen Leitungsdrahte dagegen ordnete sich das Eisenfeilicht über und unter demselben in kenntliche, mit der Axe gleichlaufende Streifen. Auſserdem bewaffnete Seebeck einen Schlieſsungsdraht von einem quadratischen Querschnitte, dessen Seite 4,5 Lin. betrug, mit eben so breiten und 5 Z. langen Schienen von weichem Eisen, welche kleine Stollen hatten, und dann vermittelst eines Ankers 5,5 Drachmen, und bei Anwendung eines Elektromotors, dessen Metalle jedes 31,5 Qua-

---

1 Ann. Chim. Phys. XV. 93.

2 Berlin. Denkschriften. 1820—21. S. 289 ff. S. 297. Schweigg. J. N. F. II. 30 u. 38.

dratfuſs hielt, 2 ℔. 2,5 Unzen trugen[1]. Erman[2] beobachtete vermittelst seines Rotationsapparates das Bestreben des feinsten Eisenfeilicht, durch die einwirkende Anziehung des Verbindungsdrahtes auf dasselbe sich in gewissen Figuren auf geglättetem Papiere zu lagern, welche er den durch Brugmans vermittelst eines parallel transversalen Magnetstabes erhaltenen ähnlich fand. Auch der von G. G. Schmidt gebrauchte Apparat[3] scheint nicht stark genug gewesen zu seyn, um am bloſsen Leitungsdrahte Eisenfeilicht in gehöriger Menge festzuhalten; brachte man es aber auf einer Glasscheibe liegend unter ihn, so legte es sich zu beiden Seiten desselben an ihn an, und stellte sich zugleich senkrecht auf seine Richtung[4]. Auch Davy[5] beobachtete mit am frühesten das starke Anhängen des Eisenfeilicht an einen dünnen Leitungsdraht der Volta'schen Elektricität in Massen, deren Dicke die des Drahtes bis auf das Zwölffache übertraf, und in Linien, deren Richtung er der Axe des Drahtes parallel fand.

Ich selbst habe mit dem (oben II. A. No. 5.) beschriebenen Apparate das Anhängen des Eisenfeilicht an Drähte von 0,1 bis 1,5 Lin. Durchmesser oft und genau beobachtet, dabei aber den von Seebeck angegebenen Unterschied in der Wirkung eines horizontalen und eines lothrechten Leiters nicht gefunden. Wurde das Eisenfeilicht auf Papier von unten insbesondere den dickeren Drähten genähert, an denen überhaupt diese Erscheinung bei der Anwendung kräftiger Elektromotore besser beobachtet werden kann, so erhob sich dasselbe wie bei einem Stahlmagnete strahlenförmig bis zur Höhe von etwa 1,5 Lin., blieb aber bei Entfernung des Papiers nur in einer Lage von etwa 0,5 Lin. hängen, und bedeckte so nicht völlig den halben Umfang des Leiters. Bewegte man aber das Papier mit dem Eisenfeilicht unter dem Drahte hin und her, so umgab es den ganzen Umfang anscheinend in parallelen, sehr nahen Ringen, welche in-

1 a. a. O. S. 312.

2 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. S. 32.

3 S. oben II. A. No. 4. G. LXXII. 4.

4 Die vielen späteren Beobachtungen dieser Erscheinung übergehe ich mit Stillschweigen.

5 Journ. de Phys. XCIV. 72.

defs wahrscheinlich der angegebenen Bewegung ihren Ursprung verdankten. Dünne Drähte wurden sogleich völlig davon umgeben, trugen aber im Ganzen eine weit geringere Menge.

2. Das Anziehen des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht läfst sich noch leichter sichtbar machen, wenn man die (III. A. No. 11) beschriebene Spiralscheibe anwendet, indem dieselbe auch bei kleineren Elektromotoren das Phänomen zeigt, z. B. bei der Anwendung von zwei Scheiben nur in der Gröfse eines Quadratfufses und der angegebenen Mischung von verdünnter Schwefelsäure mit Salpetersäure. Faraday[1] fand beim Gebrauche eines Hare'schen Calorimotors, dafs eine solche Spiralscheibe, insbesondere in ihrem Mittelpuncte, eine aufserordentliche Menge Eisenfeilicht festhielt. Bei einem aus mit Seide übersponnenem Drahte gebildeten massiven Cylinder soll nach ihm Eisenfeilicht, welches man auf Papier unter diesen hält, sich in krummen Linien anreihen, die von dem einen Ende desselben nach dem andern gehen, und den Weg anzeigen, den ein Magnetpol nehmen würde, indem die Enden eines solchen Cylinders sich wie die eines Magnetes verhalten, nämlich anziehen und abstofsen. Etwas undeutlich ist die Beschreibung des Verhaltens einer nicht ganz bis zum Mittelpuncte fortgewundenen Spirale. Legt man sie mit ihrer ebenen Seite auf einen Haufen Eisenfeilicht, so reihet dieses sich in Linien, welche mit der Axe der Scheibe parallel laufen, biegen sich dann von beiden Seiten jedes Drahtes sich begegnend wie Radien gegen einander, so dafs sie genau die Linien darstellen, welche ein Magnetpol um die Seiten der Ringe beschrieben haben würde. Das Eisenfeilicht in der Axe der Ringe stand aufrecht in lothrechten 0,5 Z. langen Fasern, eine wahre Axe des Ringes darstellend, indefs das Zwischenliegende ebenfalls lange Fasern bildete, die sich vom Centrum abwärts bogen, und zwar desto stärker, je weiter es sich von demselben entfernte. Es scheint mir indefs, als hätten manche Beobachter, hauptsächlich in den ersten Zeiten, in den Formen des angezogenen Eisenfeilicht mehr gesucht und somit auch gefunden, als wirklich darin liegt.

Sehr genau beschrieben sind diese Erscheinungen durch

---

1 G. LXXI. 156, 158.

G. G. Schmidt[1]. Die von ihm gebrauchte Spirale bestand aus Silberdraht, welcher in Abständen von 0,5 Z. gewunden war, und vermittelst übergebundener Glasstäbchen in einer geraden Fläche erhalten wurde. Unter diese hielt er in einer Entfernung von 0,5 bis 1 L. gleichförmig auf eine Glastafel gestreutes Eisenfeilicht in einer mit der Spirale parallelen horizontalen Ebene, und schloſs die galvanische Kette in kurzen Zwischenräumen. Bei jeder neuen Schlieſsung fuhren die Eisentheilchen nach der Spirale, vorzüglich nach ihrer inneren Windung in die Höhe, hingen sich an diese und an einander, und bildeten einen hohlen, abgestumpften, kegelförmigen Ring, dessen untere Basis die Glastafel, die obere der Ring der Spirale war. Als er darauf Eisenfeilicht auf eine Glastafel gleichmäſsig streuete und über die Spirale brachte, so ordnete sich dasselbe durch sanftes Klopfen zu einem schönen Sterne, dessen Mittelpunct mit dem Centrum der Spirale zusammenfiel, und dessen Strahlen senkrecht auf den Windungen derselben standen. Jedes Eisentheilchen wird hierbei nach Schmidt's Ansicht zwischen den Drähten der Windungeu zum wirklichen Magnete mit entgegengesetzten Polen.

Fig. 69.

Fig. 70.

Nur mit wenigen Worten darf der Vollständigkeit wegen hier bemerkt werden, daſs es bisher noch nicht gelungen ist, durch Reibungselektricität irgend eine Wirkung auf Eisenfeilicht hervorzubringen.

Gleich wichtig sind wohl unstreitig die Wirkungen, wodurch der elektrische Leitungsdraht in *Stahlnadeln* bleibenden Magnetismus erzeugt. Auch diese Erscheinungen zerfallen wieder in zwei Arten, nämlich diejenigen, welche der gerade Draht darbietet, und solche, die vermittelst eines schraubenförmig gewundenen hervorgebracht werden.

3. Betrachten wir zuvörderst die ersteren, so war Arago[2] derjenige, welchem es am frühesten gelang, Stahlnadeln durch den quer über ihre Enden hingeführten Verbindungsdraht wirksamer Elektromotoren bleibend magnetisch zu machen. Ungleich umfassender aber waren Seebeck's Versuche[3]. Dieser entdeckte, daſs Stahlnadeln durch bloſses Streichen auf einem

1 G. LXXII. 3.
2 Ann. Chim. Phys. XV. 93.
3 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 296. Schweigg. J. N. F. II.

Kupferstabe, welcher zur Verbindung der beiden Elektromotoren diente, beider Axen in einem rechten Winkel gegen einander geneigt, bleibend magnetisch wurden, und zwar nach einem constanten Gesetze nord- oder süd-polarisch. Bedient man sich hierbei einer angemessenern Bezeichnung, als die von Seebeck gewählte eines Streichens von der Rechten nach der Linken, dem elektrischen Strome in Gedanken selbst folgend, so kann man das Gesetz so ausdrücken: *wenn man die Nadel in derjenigen Richtung am Drahte streicht, oder streichend um denselben herumführt, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um denselben herumläuft, so wird die Nadel an ihrem zuletzt abgezogenen Ende südpolarisch.* Dieses Gesetz wurde vorzüglich bestätigt durch H. Davy[1], welcher an einem 11 Z. langen und $\frac{1}{30}$ Z. dicken silbernen Schliefsungsdrahte des Volta'schen Apparates Stahlnadeln in verschiedenen Richtungen befestigte, einige mit demselben parallel laufend, andere quer unter, über und an den Seiten desselben. Alle wurden magnetisch, und zogen Eisenfeilicht an, die parallelen auf die nämliche Art, als der Draht selbst, und nur so lange, als die galvanische Kette geschlossen blieb; die quer gerichteten aber erhielten bleibenden Magnetismus, und es fand sich, dafs wenn das + Ende der Batterie in Osten stand, der Nordpol in allen unter dem Drahte in Querrichtungen befestigten Nadeln an der *Südseite*, in allen über ihm befestigten dagegen an der *Nordseite* desselben lag; auch war dieses stets der Fall, unter welchem Winkel gegen den Horizont die Nadeln befestigt seyn mochten. Es leuchtet von selbst ein, dafs diese Bezeichnung gänzlich mit dem angegebenen Gesetze übereinstimmt, welches auf so sichere Thatsachen gegründet künftig zur Prüfung anderer Angaben benutzt werden kann.

4. Es ist oben (III. A. No. 13) schon gezeigt, dafs die Reibungselektricität nur unter sehr beschränkenden Bedingungen ausnehmend schwache Spuren elektromagnetischer Wirkungen von derjenigen Art zeigt, wie die dort beschriebenen sind, desto auffallender aber zeigt sie diejenigen, welche hier untersucht werden, jedoch nur unter der Bedingung, wenn man sie nicht leise überströmend, sondern in Funken, sowohl

1 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 229.

einfachen[1], als insbesondere verstärkten anwendet, welche übrigens nur hinsichtlich des Quantitativen von einander verschieden sind. Der erste, welchem es gelang, durch starke elektrische Funken Stahlnadeln magnetisch zu machen, war v. Yelin[2], indefs beruhen die Resultate, wonach dieselben in Folge der durch sie selbst oder durch einen der Länge nach über sie ausgespannten Draht geleiteten elektrischen Funken magnetisch geworden seyn sollen, vermuthlich auf einer Täuschung, indem hierdurch, nach späteren übereinstimmenden Erfahrungen, mindestens kein Longitudinalmagnet erzeugt wird, die unlängst bekannten Folgen der Erschütterung etwa abgerechnet. Da die Versuche leicht anzustellen sind, so wurden sie seitdem von sehr vielen Physikern wiederholt, und es wird daher genügen, bloſs die wichtigsten derselben namhaft zu machen. Im Allgemeinen ist dabei zu bemerken, daſs ein einziger starker Funken meistens die ganze Wirkung hervorbringt, welche durch eine beliebige Menge nachfolgender nicht weiter verstärkt wird; auch zeigt sich eine einzige groſse Flasche weit wirksamer, als eine Batterie, insbesondere wenn beide gleich groſse Belegungen haben. Ueberhaupt sind diese Versuche zwar sehr leicht anzustellen, allein vorzüglich gut gelingen sie nur dann, wenn die Witterung günstig, das Versuchszimmer nicht mit Menschen angefüllt ist, und die Elektricität daher einen bedeutenden Grad der Spannung hat.

5. Die gehaltreichsten Versuche über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität hat H. Davy[3] angestellt. Stahlnadeln, welche mit ihrer Axe quer gegen die des Leitungsdrahtes gerichtet sind, werden, wenn man von der positiven Belegung ausgeht, links unter dem Drahte nordpolarisch, über demselben südpolarisch. Vergleichen wir dieses Resultat mit dem unter No. 3 angegebenen, durch Seebeck am Volta'schen Schlieſsungsdrahte erhaltenen, so ergiebt sich, daſs beide identisch sind. Es befinde sich deswegen der posi-

1 Hill in Schweigg. Journ. XXXIV. 293.

2 G. LXVI. 406. LXVIII. 17. Nach Gilbert a. a. O. S. 18 ist es wahrscheinlich, daſs die Nachricht von Arago's Versuchen im Moniteur univ. 1820. N. 315. S. 1491 sich auf *Reibungselektricität* bezieht, in welchem Falle diesem Gelehrten auch jene Versuche zuerst gelangen.

3 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 233.

tive Pol der Flasche als positiver eines Volta'schen Apparates gedacht, im Norden, so muſs der Beobachter, um ihn rechts zu haben, nach Westen gerichtet seyn. Der Nordpol der Magnetnadel bewegt sich aber unter dem Drahte nach Osten. Faſst man also den durch Davy erhaltenen Nordpol, und zieht die Nadel vom Drahte ab, so berührt ihr Südpol denselben, und man kann demnach auch hierbei sagen, daſs eine Nadel südpolarisch wird, wenn man sie in derjenigen Richtung um den Leitungsdraht herumführt, in welcher der Nordpol des Magnetes um denselben läuft. Eine Leidener Batterie von 17 Quad. F. Belegung durch einen Silberdraht von 0,05 Z. Dicke entladen, machte eine 2 Z. lange und 0,05 bis 0,1 Z. dicke Nadel so stark magnetisch, daſs sie kleine Drahtstücke anzog, auch ging die Wirkung des Drahtes auf eine Entfernung von 5 Z. durch Wasser, Glas und elektrisch isolirtes Metall. Ging der Batteriefunken durch die Luft quer über die Nadel hin, so wurde sie weniger magnetisch, als unter oder über einem leitenden Drahte; eine 0,25 Z. dicke Säule Schwefelsäure in einer Röhre lieſs indeſs nicht genug Elektricität durch, um Magnetismus zu erzeugen. Zwei an einander befestigte Stahlstäbchen, durch deren gemeinschaftlichen Schwerpunct der Leitungsdraht ging, zeigten in ihrer Verbindung keinen bedeutenden Magnetismus, nach der Trennung aber fand sich, daſs die ungleichnamigen Pole zusammenlagen.

6. Dem Wesen nach ähnlich, aber noch interessanter ist folgender Versuch. Davy befestigte mit Zwirn auf einer Pappenscheibe, von 2,5 Z. Durchmesser 6 kurze Stahlnadeln so, daſs sie die Seiten eines im Kreise beschriebenen Sechsecks bildeten, ihr Ende einander nahe, doch ohne Berührung. Durch den Mittelpunct der Scheibe, und also auch des Sechsecks ging der Draht, welcher beide Belegungen der Flasche verband, und nach der Entladung derselben waren alle sechs Nadeln magnetisch mit einander zugewandten freundschaftlichen Polen, deren Lage umgekehrt wurde, wenn die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte war. Wenn mehrere concentrische Polygone auf der Scheibe befestigt waren, so machte ein kräftiger Flaschenschlag sie sämmtlich magnetisch. Diese interessanten Versuche habe ich selbst sogleich nach ihrer Bekanntwerdung wiederholt, indem ich einen Messingdraht durch eine enge Glasröhre zog, und diese vermittelst zweier Körke in eine

andere, 3 Lin. weite befestigte. Auf die äufsere waren in den verschiedensten Richtungen gegen den Horizont eine grofse Menge 4 Lin. lange und etwa 0,3 Lin. dicke Stahldrähte mit etwas Wachs so aufgeklebt, dafs die Durchschnitte der Ebenen durch ihre Axen mit der des inwendigen Leiters vier rechte Winkel bildeten. Wurde ein kräftiger Flaschenschlag durch den Draht in der horizontal liegenden Röhre geleitet, so fanden sich alle Stahldrähte magnetisch, und zwar so, dafs alle gleichnamigen Pole nach einer Seite hin gerichtet waren, wenn man zur Bestimmung derselben eine den Leitungsdraht umkreisende Bewegung annimmt. Aehnliche Resultate erhielt gleichzeitig van Beek mit Stahlnadeln, welche er auf einer Glastafel liegend quer unter oder über den Entladungsdraht einer kräftigen Batterie brachte [1].

7. Unter die wichtigsten, mit einem geraden Leiter der Reibungselektricität anzustellenden Versuche gehört ohne Zweifel die Erzeugung der Transversalmagnete durch denselben, und man bedient sich hierzu seltener grofser Volta'scher Batterieen, obgleich sie diese Wirkung gleichfalls hervorbringen. Diese Art künstlicher Magnete, welche sich aus kleinen, mit ihren gleichnamigen Polen zur Bildung eines langen Stabes an einander gelegten Magnetstäben gleichfalls leicht herstellen lassen, kannte man schon lange. Nach der Bekanntwerdung des Elektromagnetismus scheint mir indefs Prechtl [2] der erste gewesen zu seyn, welcher die Aufmerksamkeit auf dieselben wieder rege machte, und sie wurden seitdem vielfach durch die Physiker vermittelst der Flaschenelektricität gebildet. Zuerst geschah dieses durch G. G. Schmidt [3], und ich selbst habe sie nach dessen Anweisung stets in vorzüglicher Stärke und von langer Dauer auf folgende Weise erhalten. Ich wickele stählerne Claviersaiten von No. 1 um eine 1,5 Lin. im Durchmesser haltende Thermometerröhre, indem ich das eine Ende der Saite am einen Ende der Röhre mit etwas gewichster Seide festbinde, in etwa 0,5 bis 0,25 Lin. abstehenden Windungen bis ans Ende der Glasröhre, wo der Draht gleichfalls mit Seide festgebunden wird. Wenn die Windungen sich unmittelbar

1 G. LXXII. 17.
2 G. LXVII. 262. Vergl. LXVIII. 203.
3 G. LXX. 229.

berühren, so werden nach meinen bisherigen Erfahrungen die Magnete minder kräftig. Ueber dem schraubenförmigen Drahtgewinde, mit der Axe der Röhre parallel, spanne ich einen Draht von beliebiger geringer Dicke, welchen ich an den Enden der Röhre gleichfalls festbinde, bringe diesen in den allgemeinen elektrischen Auslader, und lasse einen kräftigen Batteriefunken durchgehen, worauf der gerade Draht weggenommen wird, und die umwundene Glasröhre einen kräftigen Transversalmagnet darstellt, dessen linke Seite in Beziehung auf den elektrischen Strom nordpolarisch ist. Der der Länge nach übergespannte Draht ist meistens mit Seide übersponnen, oder man legt unter ihn ein seidenes Band, um ihn von dem Stahldrahtgewinde zu isoliren, welches indeſs nicht einmal nothwendig ist, da ohnehin die Elektricität den kürzesten Weg wählt.

8. Wird der gerade Leitungsdraht der Elektricität einer groſsen Flasche oberhalb der eben beschriebenen Stahldrahtgewinde hingeleitet, so ist die dadurch erzeugte Polarität die entgegengesetzte derjenigen, welche er unter demselben hingeführt erzeugt, einerlei Richtung des elektrischen Stromes vorausgesetzt. Es scheint hieraus zu folgen, daſs ein durch die Mitte eines solchen Gewindes durchgeführter gerader Draht einen doppelten Transversalmagnet mit entgegengesetzter Polarität bilden müſste, allein es hat mir und andern, so viel ich weiſs, bisher nicht gelingen wollen, solche Magnete darzustellen, indem die Drahtgewinde gar keinen, oder nur unmerklichen, und keiner Prüfung fähigen Magnetismus annahmen. Dieses stimmt mit dem oben No. 5 erzählten Resultate überein, welches Davy erhielt, wenn er den Leitungsdraht quer durch den gemeinschaftlichen Schwerpunct zweier parallel mit einander zusammengebundener Stahlnadeln zog, und diese dann erst durch den Batteriefunken jede einzeln magnetisirt fand, wenn sie von einander getrennt wurden. De la Borne will indeſs durch dieses Verfahren Transversalmagnete mit nur zwei einander gegenüberstehenden Polen erhalten haben[1], und die Polarität derselben soll nach der Richtung der Windungen des Stahldrahtes verschieden gewesen seyn. Letzteres widerstreitet indeſs der Natur der Sache, indem die erzeugte Polarität bloſs von dem Leitungsdrahte der Elektricität, auf keine Weise aber

1 G. LXXII. 17.

von der Lage des ihm genäherten Körpers abhängt. Vielleicht können doppelte Transversalmagnete aus Windungen von gröfserem Durchmesser vermittelst mächtiger Batteriefunken erhalten werden[1].

9. Die holländischen Physiker van Beek, van Rees und van Moll magnetisirten Stahlnadeln[2], indem sie dieselben über die Schenkel des in einen Winkel gebogenen Entladungsdrahtes der elektrischen Flasche legten, und erhielten hierdurch dreipolige Nadeln, deren Polarität aus der Bezeichnung in der Figur ersichtlich ist, wenn die Nadel a b c d über dem Drahte lag, die Richtung des elektrischen Stromes gleichfalls so angenommen, wie sie in der Zeichnung angedeutet ist. Ueber einem Drahte mit mehreren solchen Biegungen erhielt die Nadel eine der Menge derselben proportionale Menge Pole. Fig. 71.

10. Noch eine Reihe interessanter Versuche der eben genannten Physiker über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität nehme ich ihrer Wichtigkeit wegen zusammen, erlaube mir indefs dabei die Bezeichnungen der erhaltenen Polarität so abzuändern, wie sie der Natur der Sache nach seyn mufsten, weil sie sonst mit den eben erwähnten und andern Beabachtungen der nämlichen Physiker im Widerspruche stehen würden, und auch schon Gilbert[3] gezeigt hat, dafs nothwendig ein Irrthum dabei obwalten müsse. Ging der elektrische Entladungsdraht e f der Länge nach über eine 3,8 Z. lange und 2,5 Z. breite Stahlplatte a b c d, so wurde sie an beiden Seiten magnetisch. Schwächere Schläge nachher durch den Draht k i theilten derselben nur bis an m l, m′ l′ Polarität mit. Wurde der elektrische Funke vermittelst eines Drahtes durch eine durchbohrte Stahlscheibe geleitet, so zeigte sie sich nicht polarisch, bis sie mit einer Blechschere durchschnitten war, worauf jede Hälfte sich entgegengesetzt polarisch zeigte. Dieses Resultat steht übrigens mit Davy's Beobachtungen an zusammengebundenen Stahlnadeln[4], noch mehr aber mit Erman's[5] ganz gleichen directen Versuchen der Magnetisirung Fig. 72.

1 Vergl. unten IV. D. 1. 4.
2 G. LXXII. 13.
3 Ann. LXXII. 23.
4 S. oben No. 5.
5 Seebeck in Berlin. Denksch. 1820—21. S. 338.

von Stahlscheiben im Widerspruche, auch ist es kaum glaublich, dafs eine in der Mitte durchschnittene Stahlscheibe wirklich unipolar magnetisch seyn sollte, da bei einem jeden künstlichen Magnete sofort beide Pole zum Vorschein kommen. Ueber eine quadratische Stahlplatte ABCD wurde auf einer Glastafel ein mehrfach gebogener Draht EFGHIKL gelegt, und durch diesen eine starke Batterie entladen, wodurch die Platte den in der Figur angedeuteten Magnetismus erhielt. Blofs der Form nach verschieden ist der Versuch, dafs durch ein Loch G in der Messingplatte ABCD eine unmagnetische Nadel gesteckt, dann die Glasscheibe HIKL auf die Platte gelegt, der Draht EF hinübergespannt und durch diesen mehrere Flaschenschläge geleitet wurden, worauf sich die Nadel stark magnetisch zeigte. Cylinder von Stahl, durch welche Flaschenschläge vermittelst eines Drahtes in einer Glasröhre geleitet wurden, verhielten sich ganz wie die erwähnte Stahlscheibe[1].

Fig. 73.

Fig. 74.

11. So wie das oben erwähnte Angezogenwerden des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht kräftiger hervortritt, wenn der letztere spiralförmig gewunden ist, so geschieht auch auf gleiche Weise das Magnetisiren der Stahlnadeln leichter und kräftiger durch gewundene Drähte. Inzwischen bediente man sich hierzu von Anfang an vorzugsweise der schraubenförmigen Windungen, hatte dabei aber Mühe, zur Verständigung über die entstandenen Pole, die entgegengesetzten Richtungen dieser Windungen gehörig zu bezeichnen, ohne alle Schwierigkeiten und Mifsverständnisse in den Ausdrücken des *rechts* und *links* Gewundenseyns gehörig zu vermeiden[2]. Inzwischen hat man hierüber folgende Bestimmung angenommen[3]. Wenn man sich denkt, dafs jemand einen von ihm abgekehrten Cylinder horizontal hält, die obere Seite des ihm zugewandten Endes mit dem Finger berührt, diesen nach der rechten Seite herab unter dem Cylinder durch und wieder aufwärts führt, und so bis ans Ende fortfährt, also in der Richtung, *wie die Schrauben geschnitten werden*, so nennen die Botani-

1 Edinb. Phil. Journ. 1822. Apr. G. LXXII. 12.

2 Vergl. Gilbert Ann. LXIX. 211.

3 S. Demonferrand Manuel de l'Électricité dynamique. Par 1823. 8. Deutsch. Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w von Fechner. Leipz. 1824. §. 86.

ker diese Windung *rechts (dextrorsum)* gewunden, die in entgegengesetzter Richtung laufende aber *links (sinistrorsum)* gewunden. Es gilt dann ferner das allgemeine Gesetz, dafs, *wenn der elektrische Strom die Richtung der Windungen verfolgt, bei einer rechts gewundenen an der Seite, wo er anfängt, den Südpol, und wo er endigt, den Nordpol erzeugt.* Bei links gewundenen Schraubenlinien ist die Wirkung die entgegengesetzte.

In wie fern dieses mit dem Oersted'schen Fundamentalversuche übereinstimme, läfst sich auf folgende Weise leicht zeigen. Es folgt nämlich aus allen bisher mitgetheilten Erscheinungen, dafs ein elektrischer Leitungsdraht, wenn man den Strom der Elektricität von sich abwärts fliefsend denkt, in derjenigen Richtung, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um ihn läuft, nordpolarischen Magnetismns erzeugt. Legt man also eine Stahlnadel oder ein Stahlblech *unter* den Draht, so mufs links vom Beobachter ein Nordpol gebildet werden, und diese Wirkung bedeutend verstärkt hervortreten, wenn der Draht in mehreren Windungen um die Nadel geschlungen wird, ohne dieses Verhältnifs gegen dieselbe zu ändern. Um dieses zu versinnlichen, sey ab der elektrische Leitungsdraht, die Richtung Fig. 75. des Stromes so, wie die Zeichnung angiebt, genommen; cefd sey eine Glasröhre mit einer durch sie gesteckten Nadel, so wird die letztere *unter* dem Leitungsdrahte durch den elektrischen Strom die in der Zeichnung angedeutete Polarität annehmen. Man drehe nun die Spitze der magnetisirten Nadel gegen sich, das + Ende zugewandt, fasse den Draht a, und winde ihn um die Glasröhre von oben nach unten in der Richtung der gezeichneten Linie, bis das Ende a nach a' kommt, das andere Ende b dann gleichfalls von oben nach unten herab in der Richtung der Linie, bis es nach b' kommt; so bleibt die Lage des + und — Endes der Stahlnadel gegen den Draht unverändert, und mufs daher dieser nämliche Magnetismus, jedoch in gröfserer Stärke, in ihr erzeugt werden. Man hat also in diesen vielfachen wirrigen Constructionen zur Erhaltung einer klaren Vorstellung und deutlichen Orientirung nichts weiter im Gedächtnisse zu behalten, als den elektromagnetischen Hauptversuch. Uebrigens ist die hier angegebene Windung eine *links gewundene.*

12. Arago[1] war der erste, welcher durch die eben genann-

1 Vergl. oben No. 4.

ten schraubenförmigen Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes Stahlnadeln magnetisirte, und auch sogleich die Entdeckung damit verband, daſs in ein und derselben Nadel mehrere abwechselnde Pole erzeugt wurden, wenn er die Windungen des Drahtes zuerst nach einer Richtung laufen lieſs, dann nach einer Unterbrechung durch eine kurze gerade Strecke in der entgegengesetzten, und so in mehreren Wechseln.

13. Aehnliche Versuche wurden seitdem in Menge angestellt, dienten aber nur dazu, die einmal gemachten Erfahrungen zu bestätigen. Am ausgezeichnetsten sind diejenigen, welche die italienischen Physiker Gazzeri, Marchese Ridolphi Antinori und Graf Bardi schon im Jahre 1820 und 21 anstellten[1]. Sie bedienten sich dazu zweier kupferner Kasten, deren jede einzelne Zinkplatte 507,5 Quadratzolle maſs, und die mit Wasser und $\frac{1}{60}$stel Schwefelsäure gefüllt, beide aber zu einem einzigen Apparate vereinigt waren. Die Stärke des hierdurch in schraubenförmigen Drahtgewinden erzeugten Magnetismus erreichte in einer Minute schon das Maximum, ohne durch längere Einwirkung des elektrischen Stromes weiter verstärkt zu werden, auch war die Verlängerung des Leitungsdrahtes bis zum gewundenen Theile von keinem Einflusse. Es machte ferner keinen Unterschied, ob das Drahtgewinde mit der Nadel sich von Luft umgeben, oder unter Wasser, unter Eis, oder in einer an beiden Seiten verschlossenen Glasröhre befand. Ferner wurden die Nadeln magnetisch, die schraubenförmigen Windungen mochten weiter von einander abstehen, oder bis zur Berührung einander genähert seyn, selbst wenn sie von Auſsen mit einem Stanniolstreifen umgeben waren, nur nicht in einem Blechcylinder, wenn dieser einen Theil des Leitungsdrahtes ausmachte. Umgab dagegen der Schlieſsungsdraht in schraubenförmigen Windungen eine Röhre von Messing, worin sich die Nadel befand, so wurde diese noch stärker magnetisch, als in einer Glasröhre. War das Drahtgewinde durch Umwikkelung eines dreiseitigen Prisma oder eines Parallelepipedums gebildet, so wurde die Nadel darin so gut magnetisch, als in einem umwundenen Cylinder, dagegen waren zickzackförmige Biegungen, so wie hin und zurücklaufende Flechtungen des Drahtes ohne Wirkung, auch machte die Art des Metalles

1 Bibl. univ. XVI. 101. G. LXXI. 262.

woraus die Windungen bestanden, überall keinen Unterschied. Daſs übrigens diese Physiker keinen Magnetismus in Nadeln an der Auſsenseite der schraubenförmigen Drahtgewinde entstehen sahen, ist durch spätere Versuche vielfach berichtigt, denn hier wird er zwar schwächer als im Innern der Windungen und von entgegengesetzter Polarität erzeugt, allein seine Entstehung daselbst ist nicht minder gewiſs und sicher[1].

14. So wie ein schraubenförmig gewundener Draht als Leiter der galvanischen Elektricität eine stärkere Wirkung in Hervorbringung des Magnetismus äuſsert, als ein gerader, eben so ist dieses auch der Fall bei der *Reibungselektricität*, und da die Versuche hiermit so leicht anzustellen sind, und so auffallende Resultate geben, so hat man sie auch weit häufiger wiederholt als jene, welche zum vollständigen Gelingen gröſsere Apparate erfordern, als gegenwärtig in der Regel für die physikalischen Cabinette angeschafft sind, denen eine hinlänglich starke Elektrisirmaschine und die zur Anstellung dieser Versuche erforderlichen Flaschen überall nicht zu fehlen pflegen. Es wird daher genügen, nur die ausgezeichnetsten Versuche hier anzugeben. Hierhin gehören vorzüglich die durch v. Yelin angestellten, welcher zuerst diese Wirkung der Reibungselektricität auffand, indem er Arago's Versuche nachmachte, die nach seiner Meinung mit einer gewöhnlichen elektrischen Batterie angestellt seyn sollten, obgleich er sich wirklich dabei eines Volta'schen Apparates bedient hatte[2]. Beide fanden auch sogleich das wichtige Gesetz bestätigt, daſs der Magnetismus hierbei, seinem übrigen Verhalten analog, durch keinen elektrischen Isolator zurückgehalten wird, und es daher ganz gleich ist, ob die Windungen des Leitungsdrahtes der Elektricität um Glas, Seide, Papier, Wachstaffent, Leinewand, Holz u. dgl. gewunden sind, und diese Substanzen die Stahlnadeln einschlieſsen, oder ob sie von Luft, Wasser u. s. w. umgeben sind. V. Yelin fand ferner, daſs es auch bei dieser Art zu magnetisiren nicht sowohl auf die Menge der einfachen elektrischen, oder der Batterie-Funken, als vielmehr auf ihre Stärke ankomme, indem eine einzige Entladung einer starken Flasche den Magnetismus so

1 Vergl. Boeckmann bei G. LXVIII. 15.

2 G. LXVI. 406. LXVII. 17.

vollständig in der Stahlnadel hervorruft, als es durch die gegebene Stärke der Elektricität geschehen kann.

15. Die Art der Anstellung dieser Versuche ist sehr einfach, und man darf annehmen, daſs es auſser einem später zu erwähnenden nur drei leicht zu verfertigende Apparate giebt, welche die Gesammtheit dieser Erscheinungen umfassen. Der eine besteht aus einer einfachen, 4 bis 6 Z. langen und so weiten Glasröhre, daſs eine Stahlnadel von etwa 0,25 bis 1 Lin. Durchmesser bequem hineingeschoben werden kann. Um diese wird ein Kupferdraht (unächte silberne Claviersaite) von etwa 0,2 Lin. Durchmesser in Windungen, welche 1 bis 2 Lin. von einander abstehen können, gewunden, und der Draht an beiden Enden der Glasröhre mit gewichsten Seidenfäden so festgebunden, daſs seine Enden 0,5 bis 1 Z. in der geraden Richtung der Glasröhre über diese hervorragend fortlaufen. Vermittelst dieser Enden wird er in willkürlicher Lage und Richtung gegen Horizont und Weltgegenden so befestigt, daſs der elektrische Flaschenfunken durch seine ganze Länge strömen kann, wodurch dann die in der Glasröhre befindliche Stahlnadel in einen bipolaren Magnet verwandelt wird, dessen Polarität auf die oben in No. 11 angegebene Weise bestimmt werden kann, und durch die Zeichnung ausgedrückt ist. Diesem ähnlich ist ein zweiter Apparat, welcher aus zwei gleichen, parallel neben einander liegenden, und mit dem nämlichen Drahte auf die angegebene Weise umwundenen Glasröhren besteht, wobei die Windungen sich zwischen beiden Röhren durchkreuzen, und daher einander entgegengesetzt sind. Ein einziger durch diese Windungen geleiteter Flaschenschlag macht die zwei Stahlnadeln in beiden Glasröhren zu bipolaren Magneten mit einander entgegenstehenden Polen, so daſs in den vereinigten Röhren die freundschaftlichen Pole an einander liegen. Der dritte Apparat endlich fällt mit dem ersten sehr nahe zusammen, jedoch nimmt man dazu eine etwas längere Glasröhre, umwindet diese zuerst einige Zolle nach einer Seite, bindet den Draht daselbst fest, führt ihn etwa 0,5 Z. mit der Axe parallel fort, bindet ihn daselbst abermals fest, beginnt die Windungen aufs Neue in entgegengesetzter Richtung, und wiederholt diesen Wechsel so oft, als man einen Wechsel der Pole oder die sogenannten *puncta consecutiva* erhalten will. Man erhält also auf diese Weise an der nämlichen Stahlnadel von α bis β einen bipolaren Magnet, von

Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.

bis δ einen zweiten mit entgegengesetzter Lage der Pole, zwischen ε und z einen dritten mit der nämlichen Richtung der Pole wie im ersten u. s. w. so oft die Windungen wechseln, wobei nothwendig mit Ausnahme der Endpole allezeit zwei gleiche Pole vereinigt seyn müssen. Die holländischen Physiker van Beek, van Moll, van Rees und van den Bos erhielten auf diese Weise durch achtmaligen Wechsel einen 24 Z. langen Stahlstab mit 16 Polen[1].

16. Eine eigene Erwähnung verdienen insbesondere noch Boeckmann's früh angestellte Versuche[2]. Dieser eifrige Experimentator ging bei der Prüfung des Verhaltens der schraubenförmigen Windungen nicht bloſs von dünneren Glasröhren zu dickeren und selbst sehr dicken Glascylindern über, ohne daſs durch die weitere Entfernung eine merkliche Abnahme der Stärke des erregten Magnetismus wahrnehmbar wurde, sondern er verfertigte auch aus leichten hölzernen Stäben eine Art von Trommel, oder ein Gerippe zu derselben, welches 8 Fuſs im Durchmesser haltend mit einem 750 F. langen Messingdrahte in 30 Windungen umsponnen war. In verschiedenen Abständen von diesen Windungen wurde eine Glasröhre mit einer Stahlnadel der Axe parallel eingelegt, und weiter vom Drahte bis zur Axe der Trommel entfernt. In diesem Abstande vom Leitungsdrahte, welcher 4 F. betrug, fingen zwar die durch einen Batteriefunken aus 5 Flaschen zusammen mit 1500 Quadratzoll Belegung erregten Magnetismen an zu verschwinden, aber es ergab sich doch so viel deutlich, daſs stärkere Flaschenschläge auch auf diese und ohne Zweifel noch auf gröſsere Entfernungen Stahlnadeln magnetisch zu machen im Stande seyn müssen.

17. Daſs man sich auch der *Spiralwindungen* (archimedeischer Schneckenlinien) zur Erregung des Magnetismus auf die angegebene Weise durch Reibungselektricität müsse bedienen können, leidet aus theoretischen Gründen keinen Zweifel, unter den Versuchen aber, welche hiermit angestellt seyn mögen, sind mir nur diejenigen bekannt, welche W. Pfaff beschrieben

1 G. LXXII. 14. In der Zeichnung ist nur ein Wechsel angedeutet, welches die Entstehung des mittleren Poles besser versinnlicht.

2 G. LXVIII. 9. Vergl. v. Althaus Versuche über d. Elektromagnetismus. Heidelb. 1821. S. 34.

hat[1], und diesen ähnliche von AMPÈRE[2]. Sie bieten im Wesentlichen nichts Neues dar, und bestätigen hauptsächlich nur im Allgemeinen den Satz, dafs der Magnetismus im Centrum dieser Spiralen bedeutend stärker ist, insbesondere wenn die Windungen einander sehr nahe sind. So wurde eine Nadel von 1,5 Z. Länge, welche W. PFAFF in das Centrum einer Spirale so legte, dafs sie als Radius von 20 Windungen durchschnitten wurde, durch einen einzigen schwachen Funken stark magnetisch. Eine symmetrisch gegen die Windungen der Spirale liegende Stahlnadel erhält durch den elektrischen Funken an beiden Enden gleiche Pole, nach der Mitte hin die entgegengesetzten, und wird in der Mitte indifferent. Mehrere andere Erscheinungen sind von ihm theils aus der Theorie geschlossen, theils durch die Versuche aufgefunden. Werden die Wirkungen der spiralförmig gewundenen Drähte mit denen der schraubenförmigen verglichen, so mufs eine über das Centrum der Spirale gelegte, an beiden Enden über sie hinausreichende Nadel drei Pole erhalten. Weil es aber wichtig ist, alle verschiedenen Erscheinungen in einen Zusammenhang zu bringen, und auf das nämliche Gesetz zurückzuführen, so hielt ich es der Mühe werth, diese Versuche mit einer einzigen Flasche von 11 Quad. Fufs Belegung zu wiederholen, und erhielt hieraus folgende Resultate.

Fig. 79.

18. Ist die Elektricität kräftig, und der Draht der Spirale nicht stark mit Seide übersponnen, so entsteht in den Stahlnadeln schwache Polarität oder gar keine, und überhaupt sind die Erscheinungen regellos und können leicht täuschen, weil der Strom der Elektricität entweder die Nadel selbst ergreift, und ihrer Länge nach durchströmt, oder durch einige Windungen unter ihr hinläuft, und dann an ihr selbst seinen Weg fortsetzt. Sind aufserdem die Windungen einer Spirale einander sehr nahe, so werden sie leicht vom elektrischen Strome nicht in ihrer ganzen Länge durchlaufen, und auch hieraus entstehen Täuschungen. Wenn man aber eine Spiralscheibe anwendet, deren Windungen mindestens eine Linie von einander abstehen, diese horizontal legt, mit einer Glasscheibe bedeckt und auf diese die Stahlnadel ruhen läfst, so sind die Resultate allezeit unzweideutig und mit dem angegebenen Gesetze durchaus übereinstimmend.

1 G. LXIX. 84.

2 Demonferrand [illegible] §. 87.

mend. Liegt nämlich die Nadel auf der horizontalen Scheibe so, dafs eine durch die Axe der Nadel gehende verticale Ebene das Centrum der Scheibe durchschneidet, oder legt man sie mit dieser genannten zu beiden Seiten parallel, die Enden mögen über die Scheibe überstehen oder mit ihrer Grenze zusammenfallen, oder einige Windungen überstehen lassen, so erhält die Nadel jederzeit zwei gleiche Pole an beiden Enden, und den entgegengesetzten in ihrer Mitte. Wenn aber die Nadel blos vom Rande der Scheibe bis in ihr Centrum reicht, so erhält man einen zweipoligen Magnet. Die Polarität selbst, eben wie die ganze Erscheinung, ist dem angegebenen allgemeinen Gesetze durchaus angemessen. Ist nämlich die Richtung der Windungen so, dafs die Elektricität von Norden durch Osten nach Süden strömend, und durch Westen zurückkehrend gedacht werden kann, so erhalten die über ihnen liegenden Theile des Stahldrahtes in Osten und Westen Südpolarität, während die Mitte einen Nordpol erhält.

19. So wie der elektrische Strom in unmagnetischen Stahlnadeln den Magnetismus hervorruft, so mufs derselbe auch bei überlegener magnetischer Stärke die Polarität der Nadeln umkehren. Diese auf theoretischen Gründen beruhende Folgerung ist durch die Erfahrung vielfach bestätigt[1].

20. Es dringt sich bei diesen Betrachtungen die Frage auf, wie es zugehen möge, dafs ein einziger kräftiger Flaschenschlag im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, da doch die so leicht bewegliche Magnetnadel unter dem entladenen Drahte nicht die mindeste Wirkung zeigt. Inzwischen liegt die Beantwortung dieser Frage nicht fern, und verstattet zugleich einen belehrenden Blick über das Verhalten der Elektricität überhaupt. Am bestimmtesten drückt sich Demonferrand[2] hierüber aus, wenn er sagt, das Magnetisiren bestehe auf allen Fall in der Hervorrufung einer neuen Disposition in einem Fluidum von ausnehmender Feinheit, wozu eine Wirkung von ganz kurzer Dauer schon genügen kann, während die Ablenkung der Magnetnadel erfordert, dafs einem Körper von bestimmbarem Volumen und Gewicht eine endliche Geschwindigkeit mitgetheilt werde, wozu eine, nur ein Minimum der Zeit wirkende Kraft ausreicht.

---

1 S. unter andern Hill in Schweigg. J. XXXIV. 290 ff.

2 Handbuch der dynam. El. [illegible] 130.

Eine Ablenkung der Magnetnadel wird daher nicht erfolgen können, wenn die, zwei elektrische Pulsus trennende, Zwischenzeit so unbedeutend ist, dafs die Wirkung des ersten durch die Trägheit der Nadel und die ihrer Bewegung entgegenstehenden Hindernisse aufgehoben wird, bevor der zweite eintritt[1]. Inzwischen bemerkt man bald, dafs diese Hypothese Demonferrand's, welcher auch Ampère und die Anhänger der Theorie des letzteren beipflichten, keineswegs hinlänglich begründet ist, und der Schwierigkeit des Problems eigentlicher ausweicht, als sie selbst genügend beseitigt. Es ist daher nothwendig, diese schon einmal erwähnte Frage[2] am geeigneten Orte nochmals gründlich zu untersuchen[3].

C. Wirkungen des Magnetes auf die elektrischen Leiter.

Die Beobachtung der durch den Magnetismus des galvanischen Leitungsdrahtes bewegten Magnetnadeln mufste nothwendig auf die Folgerung führen, dafs auch umgekehrt *durch einen festen Magnet der Leitungsdraht bewegt werden könne*, und wirklich war man auch gleich vom Anfange an bemüht, diese Modification des neu entdeckten Elektromagnetismus genauer zu ergründen. Indefs hatte die Aufgabe, solche umgekehrte Bewegungen darzustellen, grofse Schwierigkeiten, weil sich auf keinen Fall ein mit den Elektromotoren verbundener galvanischer Leiter so leicht und fein balanciren läfst, als eine Magnetnadel. Schweigger[4] war der erste, dem es gelang, Bewegungen dieser Art unzweifelhaft, wenn auch weniger vollkommen darzustellen. Seitdem sind aber gerade die hierzu gehörigen Apparate auf eine merkwürdige Weise vervollkommnet und ausnehmend vervielfacht; sie zerfallen wieder in zwei Classen, nämlich zuerst diejenigen, bei denen die *Bewegung nur durch einen Magnet hervorgebracht wird*, und solche, welche *als Folge ihres eigenen Magnetismus nicht blofs durch einen Magnet bewegt werden, sondern auch der Einwirkung des tellurischen Magnetismus folgend, sich polarisch in den magnetischen Meridian einstellen*. Der Unterschied beider ist nicht

1 Vergl. unten IV. F. I.

2 Oben III. A. 13.

3 S. unten IV.

4 Journ. XXXI. 8.

wesentlich, indem jeder wirklich magnetische Körper auch jeder auf ihn einwirkenden magnetischen Kraft folgen muſs, und hieran nur durch seine geringere magnetische Kraft oder minder leichte Beweglichkeit gehindert werden kann. Zur leichteren Uebersicht will ich indeſs hier bloſs die ersteren betrachten, und in einem folgenden Abschnitte die wesentlichsten der letzteren gleichfalls zusammenstellen.

1. Unter den vielen für diesen Zweck vorgeschlagenen Apparaten verdient der *Erman'sche Rotationsapparat* den ersten Platz, sowohl rücksichtlich der Zeit seiner Erfindung, als auch wegen der Zweckmäſsigkeit seiner Construction. Erman[1] schlägt deren zwei vor, wovon ich den vorzüglichsten mit einiger, mir zweckmäſsig scheinender, Abänderung kurz beschreiben will. Fig.
Ein im Durchschnitt gezeichneter Becher vom dünnsten Silber 80.
ab hat vom Boden aus den aufwärtsgehenden hohlen Cylinder cd, so daſs also beide Cylinder einander parallel laufen. Die innere Röhre, zwischen 0,5 bis 0,75 Z. im Durchmesser haltend, ist etwas höher, und hat oben vier kleine Löcher, mit den durchgezogenen und festgebundenen Seidenfäden α, α, welche in einen gehörig starken ungezwirnten Seidenfaden β vereinigt sind, damit letzterer den ganzen Apparat trägt, und leicht beweglich macht. Am Boden des äuſseren, gröſseren Cylinders von 1,5 Z. Durchmesser liegt eine so durchbohrte dünne Glasscheibe, daſs der innere Cylinder bequem durch die Oeffnung derselben geht. Auf dieser isolirenden Glasscheibe ruhet der hohle Cylinder ee von Zink, und der Zwischenraum zwischen beiden Metallen wird am besten mit gesättigter Zinksolution gefüllt[2], weil verdünnte Säuren durch etwas Spritzen, insbesondere bei der Gasentwickelung, leicht die Seidenfäden zerfressen, Salz- und Salmiaksolution aber das Zink zwar nicht so stark angreifen, wie die Säuren, zugleich aber einen Ueberzug über das Silber erzeugen, welcher bei diesem Apparate nicht ohne Unbequemlichkeit weggeschafft werden kann. Der obere Rand des äuſseren silbernen Cylinders hat bei l ein kleines angelöthetes Blech mit einer Vertiefung, worin sich ein Tropfen Quecksilber befindet, um das eine, etwas herabwärts gebogene,

---

1 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des ... elektrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. 8. S. 9 ff.

2 S. oben II. B. S.

Ende des Drahtes l m n o p s hineinzutauchen, während das andere s in dem Quecksilbertropfen eines ähnlichen kleinen Bleches am Cylinder von Zink ruhet.

Indem der letztgenannte Draht der Leiter der erregten Elektricität ist, so läſst sich aus den bekannten Wirkungen desselben auf die Magnetnadel leicht durch Umkehren sein Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol folgern. Nach der einmal gewählten einfachen Bestimmung geht der elektrische Strom von l aus nach s. Denkt man sich also p im Norden und m im Süden, so läuft die Nordspitze der Magnetnadel unter l östlich, wird dann in die Höhe gehoben, bewegt sich über demselben westlich, an der Westseite herabwärts, und kommt auf diese Weise in ihre erste Lage wieder zurück. Eben diese Umkreisung findet in der ganzen Länge des Verbindungsdrahtes statt, wenn man seine Richtung von l bis s verfolgt. Behalten wir also für einen genäherten Nordpol der leichteren Uebersicht wegen die angenommene Richtung nach den Weltgegenden bei, und nähern dem Drahte im Puncte l einen Nordpol im Westen unterhalb einer horizontalen, die untere Fläche des Drahtes berührenden Ebene, so wird der Draht angezogen; kommt der Nordpol lothrecht unter den Draht, so weicht letzterer westlich aus; bewegt man den Magnet unter einer, die untere Fläche des Drahtes berührenden horizontalen Ebene nach Osten, so wird der Draht abgestoſsen; wäre es möglich, den in einem Puncte vereinigten Nordpol genau in einer die Axe des Drahtes schneidenden horizontalen Ebene östlich oder westlich von demselben zu halten, so würde gar kein Effect erfolgen; befindet er sich aber über dieser Ebene östlich vom Drahte, so wird dieser angezogen, lothrecht unter dem Magnete östlich abweichen, und wenn der Nordpol westlich vom Drahte über der letztgenannten Ebene gehalten wird, so muſs der Draht wieder abgestoſsen werden. Denkt man sich also einen lothrechten Durchschnitt des horizontalen Drahtes a, die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter abwärts angenommen, so liegen um diesen bei Anwendung eines nordpolaren Magnetes zwei Puncte der Abstoſsung α, α'; zwei Puncte der Anziehung β, β'; zwei Indifferenzpuncte 0,0; ein Punct der östlichen Abweichung e und ein Punct der westlichen w, welches eigentlich nichts anders ist, als das Herumlaufen des Nordpols um den Draht in der Richtung $\alpha\beta'\alpha'\beta$ umgekehrt genommen. Schieb

man den Durchschnitt des Drahtes, welchen wir hier in l angenommen haben, in Gedanken über die ganze Länge des Drahtes bis s fort, und berücksichtigt, dafs der Draht an jeder Stelle auf gleiche Weise vom magnetischen Pole umkreiset wird, so kann für jeden einzelnen Punct des Drahtes die Bewegung desselben leicht gefunden werden. Dabei versteht sich von selbst, dafs rücksichtlich des Oben und Unten das Drahtende n o dem l m und p s entgegengesetzt ist, folglich hier auch die Wirkungen des genäherten magnetischen Poles die entgegengesetzten seyn müssen, auch versteht es sich von selbst, dafs bei der Anwendung eines Südpoles die Wirkung entgegengesetzt sey, also die Anziehung in Abstofsung, und umgekehrt die östliche Abweichung in die westliche verwandelt werden wird, blofs die beiden Indifferenzpuncte werden bleiben, weil ein so aufgehangener Draht sich nicht in verticaler Richtung bewegen kann[1]. Fig. 80.

2. Der eben beschriebene Erman'sche Rotations-Apparat ist nicht ganz wohlfeil, wenn man auch zu dem Becher Kupfer statt Silber wählen wollte, und mufs aufserdem zu dem genannten Zwecke und noch einem andern später zu erwähnenden besonders angeschafft werden. Es lassen sich indefs die angegebenen Erscheinungen auch vermittelst einer andern Vorrichtung darstellen, welche durch v. Althaus[2] bald nach der Entdekkung des Elektromagnetismus in Vorschlag gebracht ist, und blofs aus einem gehörig gebogenen und an einem Faden ungezwirnter Seide fein balancirten Drahte besteht. Man hat seitdem bei den zahlreichen angegebenen Drehungsapparaten diese Art des Aufhängens nicht weiter benutzt, sondern sich vielmehr des Balancirens auf feinen Stahlspitzen bedient; weil aber jene die gröfste Beweglichkeit gewährt, und der Apparat aufserdem noch zu einem andern Zwecke dient, so möge er hier eine Stelle finden. Auf einem schmalen Brette A B wird die gebogene Glasröhre a b c aufgerichtet, welche an ihrem Ende den kleinen Becher m mit Quecksilber trägt. In diesem Quecksilber ist der Draht mit seinem krummgebogenen Ende e frei beweglich, und wird selbst durch den ungezwirnten Seidenfaden r am Häkchen Fig. 82.

---

1 Die von Erman beobachteten Wirkungen der beiden Pole eines Hufeisenmagnetes besonders anzugeben scheint mir überflüssig, da sie sich aus dem Gesagten von selbst ergeben.

2 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 4.

s getragen. Der Draht bildet dann von e und f durch g h i und k einen Kreis, welcher durch das Quadrat g l o p genau balancirt ist, und senkt sich mit der untersten Spitze in das Quecksilberschälchen n, so daſs die obere und untere Spitze nebst den Puncten f und p in eine lothrechte Linie fallen. Da wo die Biegungen sich berühren würden, sind sie durch ein Stückchen Taffent isolirt zusammengebunden, und das Ganze kommt vermittelst der Quecksilberbecher in den elektrischen Kreislauf[1].

3. Auch diese Vorrichtung erfordert wieder einen eigenen, für sich bestehenden Apparat, durch welche Vereinzelung die Zahl der Vorrichtungen zu den zahlreichen Versuchen ausnehmend vervielfältigt wird. Weit zweckmäſsiger hat man daher einen *allgemeinen Apparat* zu construiren gesucht, vermittelst dessen sich die vielfachsten Erscheinungen darstellen lassen. Es sind mehrere dergleichen in Vorschlag gebracht, z. B. von Demonferrand[2] zwei, durch die mannigfachen Combinationen, welche sie gestatten, allerdings ausgezeichnete, indeſs scheint mir der durch Ampère angegebene seiner Einfachheit und nicht übermäſsigen Kostbarkeit und Zusammengesetztheit wegen der beste, schon in so fern, als es nicht zweckmäſsig ist, die Vorrichtungen zu allen Versuchen vereinigen zu wollen, weil man sie nicht sämmtlich zu gleicher Zeit anstellt, oder bei der Demonstration vorzeigt.

Fig. 83. Ampère's[3] Apparat besteht aus einem Tische, welcher zur Vermeidung nicht gesuchter elektrischer Einflüsse mit einem isolirenden Firnisse überzogen ist, und von Säuren oder Salzsolutionen frei erhalten werden muſs. Um das unvermeidlich aus den kleinen Küpen herabfallende Quecksilber wegzuschaffen, befindet sich bei P eine Oeffnung, in welche man dasselbe vermittelst einer Feder zusammen kehren, und in dem Schubkästchen V vereinigen kann. Als wesentliche Theile dieses Apparates sind anzusehen die zwei Paar in einer verticalen Ebene

1 Die Wirkungen des Magnetes auf diesen Draht und die Richtungen der erzeugten Bewegungen übergehe ich, weil sie aus dem unter No. 1 Gesagten von selbst folgen.

2 Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w. Bearbeitet von Fechner. Leipz. 1824. 8. S. 12 ff.

3 Ann. de C. P. XXVI. 390 ff. Es ist dieses eine Verbesserung des früher nebst den damit anzustellenden Versuchen beschriebenen. S. ebend. XVIII. 88.

liegenden kleinen Küpen x′ y′; y, x; die sich zugleich zu zwei Paaren in einer horizontalen Ebene liegenden x′, y; y′, x vereinigen lassen, und die einzelne Küpe S, alle mit etwas Quecksilber gefüllt, und die beiden ersteren durch alle Azimuthe beweglich. Hauptsächlich muſs bei einem solchen Apparate dahin gesehen werden, daſs die Drähte, durch welche die erregte Elektricität zu den einzelnen Vorrichtungen geleitet wird, am Tische unbeweglich sind, damit man sie während des Experiments nicht zu halten nöthig hat, und daſs zugleich der Kreislauf der Elektricität schnell umgekehrt werden kann, damit die einander entgegengesetzten Wirkungen sogleich hervorgehen. Das Erstere erreicht man leicht, indem man die Drähte vermittelst einer auf dem Tische befestigten Klemmschraube p zwischen zwei kleine Brettchen festklemmt, während ihre etwas umgebogenen Spitzen in die Vertiefungen A und a getaucht sind. Schwieriger ist es, den elektrischen Strom augenblicklich zu unterbrechen und seine Richtung umzukehren. Hierzu dient diejenige Vorrichtung, welche in vergröſsertem Maſsstabe besonders dargestellt ist, mit gleicher Bedeutung der Buchstaben in beiden Figuren. Zwei kleine Brücken K und k, um eine Axe α, α' und β, β' beweglich, sind ohngefähr 1 Z. über die Fläche des Tisches erhoben, und bestehen aus zwei Stücken Kupfer durch gefirniſstes Holz oder Elfenbein isolirt. Die Kupferbleche haben an jeder Seite zwei, im Ganzen also vier Lappen, welche vermöge durchkreuzender Verbindungen den elektrischen Strom entweder in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung zu leiten bestimmt sind. Wird nämlich die eine dieser Brücken, die links gezeichnete, nach der rechten Seite herabgedrückt, so senken sich die dort befindlichen vier Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C, D; wird sie dagegen nach der linken Seite hin herabgedrückt, so werden die an dieser Seite liegenden Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C′ und D′ herabgedrückt; sind die Brücken horizontal, so findet keine Verbindung zwischen ihnen und dem galvanischen Leiter statt. Die beiden Vertiefungen stehen mit einander in Verbindung, nämlich C mit C′ und D mit D′ durch Drähte, welche mit Seide umwunden und durch ein Stückchen Glas zwischen ihrer Durchkreuzung von einander isolirt getrennt sind. So wie diese Brücke dem Leiter des einen galvanischen Poles dient, so ist die zweite für den des andern bestimmt, mit

Fig. 84.

einander correspondirenden Buchstaben zur Bezeichnung der einzelnen Theile. Links niedergedrückt sinken also die 4 kupfernen Lappen in die Rinnen B, a und die Vertiefungen c, d; rechts niedergedrückt in B, a und c′, d′. Für die erste Brücke ist eine
Fig. 84. Verbindung bewerkstelligt zwischen der Vertiefung G und den durch einen Draht oder Kupferstreifen verbundenen Vertiefungen C und C′; desgleichen zwischen der Vertiefung H und den verbundenen Vertiefungen D und D′. Auf gleiche Weise ist für die andere eine Verbindung hergestellt zwischen c und c′ und dem kleinen Becher S, dessen Höhe vermittelst der Stellschraube z regulirt wird, welche sich unter dem Tische befindet; desgleichen mit der Säule E T vermittelst des federnden Metallstreifens J J′, welcher gleichfalls unter dem Tische angebracht ist. Von der andern Seite findet eine Verbindung statt zwischen den Vertiefungen d und d′, und den beiden halbkreisförmigen Rinnen M N, m n mit Quecksilber gefüllt, und mit dem Drahte t u v versehen, welcher nebst der unter ihm fein balancirten Magnetnadel als Galvanometer dient. Von hieraus geht die Verbindung zur Säule F U und der Vertiefung O.

Die Säulen E T, F U sind von Kupfer, und dienen dazu, den elektrischen Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung, je nach der Lage der beschriebenen Brücken K und k, in einem geschlossenen Kreise herumzuleiten, zugleich aber die aufgehangenen Schälchen x, y; x′, y′ mit in diesen Kreislauf einzuschlieſsen. Zu diesem Ende ist die Säule E T vermittelst eines Drahtes mit dem Schälchen X und die Säule F U auf gleiche Weise mit Y verbunden; beide Schälchen sind von einander isolirt getrennt durch ein mit Firniſs überzogenes Glasstäbchen, woran sie festsitzen, und stehen in Verbindung X mit x und x′; Y mit y und y′. Je zwei dieser kleinen Schälchen x und y; x′ und y′ bieten für die aufzuhängenden Apparate zwei in einer lothrechten Linie liegende Stützpunkte dar, und eben so x und y′; x′ und y zwei in einer horizontalen Ebene befindliche, welche sich vermittelst des Knöpfchens Z durch alle Azimuthe herumdrehen lassen.

Für diejenigen Versuche endlich, in denen der tellurische Magnetismus auf die beweglichen Leiter der Elektricität wirken soll, oder die letzteren zugleich in ein Gefäss mit einem flüssigen Halbleiter der Elektricität gesenkt werden, ist es nothwendig, die Rinnen A, B mit einander zu verbinden. Dieses ge-

schieht durch Ueberschlagen des in zurückgelegter Lage gezeichneten, im Charniere q beweglichen Metallstreifens Q, welcher mit zwei Vorsprüngen e, f versehen ist. Hierdurch wird der elektrische Strom durch die beweglichen Leiter geführt, indem er entweder die Säulen E T oder F U durchläuft, oder in das Quecksilbergefäfs S geleitet wird, je nachdem die beweglichen Apparate in den Schälchen x, y; x′, y′ oder in S aufgehangen sind.

4. Mit diesem Apparate versehen kann man leicht die zu den mannigfaltigsten Figuren gewundenen Drähte in den Strom der galvanischen Elektricität bringen, und ihr Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol prüfen. Am einfachsten eignet sich hierzu die quadratische Form, und es ist um so weniger erforderlich, diese Vorrichtungen zu vervielfältigen und zusammengesetzter zu machen, als durch dieselben doch nur ein ohnehin genügend bekanntes Resultat zu erhalten ist. Wird also ein Draht, etwa 0,5 bis 0,75 Lin. dick an beiden Enden mit den feinsten Stahlspitzen versehen, dann in der Richtung a b c d e zu einem Rectangel gebogen, werden dabei die bei a zusammenkommenden Theile durch ein zwischengelegtes Stückchen Seidenzeug getrennt und mit einem Faden zu grösserer Haltbarkeit zusammengebunden, die Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen des (No. 3) beschriebenen Apparates gesenkt, welche mit Quecksilber gefüllt und am Boden mit einem Glasscheibchen versehen sind, strömt endlich die galvanische Elektricität entweder in der Richtung y a b c d e x oder umgekehrt geleitet, so lassen sich die oben (No. 1) beschriebenen Wirkungen des einen magnetischen Poles und des andern oder auch zweier verbundener für beide angegebene Richtungen des elektrischen Stromes hiermit nachweisen. Fig. 85.

5. Alle drei bisher beschriebene Vorrichtungen sind blofs im Azimuthe beweglich, und zeigen daher die Erscheinungen, welche durch die Einwirkung eines Magnetes auf einen beweglichen Leiter der Elektricität hervorgebracht werden, nicht vollständig. Es läfst sich indefs die verticale Bewegung leicht auf folgende Weise erzeugen. Ein dem vorigen ähnlicher Draht, an seinen beiden Enden mit vertical herabgehenden Spitzen y′, x versehen, dann in die rectanguläre Form y′ a b c d y″ x gebogen, im Puncte y und x auf die beschriebene Weise isolirt verbunden, dann so weit an den Seiten a b und d c herabgedrückt, dafs sein Schwerpunct ein Minimum unter die Spitzen y′ und x fällt, und Fig. 86.

er also in einer horizontalen Ebene wie ein feiner Waagebalken leicht oscillirt, endlich durch Einsenken der Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen gesenkt, und hierdurch in den Kreis der galvanischen Elektricität gebracht, wird die noch fehlenden verticalen Bewegungen deutlich zeigen, und gleicht in sofern einer Inclinationsnadel, wenn die anderen, früher (No. 1. 2 u. 4) beschriebenen, der Declinationsnadel correspondirend erscheinen. Auch hierbei fügen sich die Erscheinungen ohne Schwierigkeit einer leichten Uebersicht, wenn man sie auf das angegebene Gesetz zurückführt, dafs der magnetische Pol den galvanischen Verbindungsdraht umkreiset. Wird also die Richtung des elektrischen Stromes von y' nach x angenommen, so mufs der Nordpol unter dem Ende y' a östliche Abweichung erhalten, die Richtung dieses Endes von Norden nach Süden angenommen, mithin wird derselbe unter a b bei unveränderter Richtung südlich abweichen, und nach dieser Regel durch die ganze Länge des Drahtes. Denkt man sich nun den magnetischen Pol als fest, so kann der Draht keine Bewegung erhalten, wenn der magnetische Pol sich über oder unter dem Drahte befindet; hält man aber den Nordpol z. B. an die äufsere Seite des Endes a b, beider Axen in einer horizontalen Ebene angenommen, so wird der Draht herabsinken; denselben Pol an der inneren Seite gehalten wird er dagegen in die Höhe steigen, und hiernach lassen sich alle Bewegungen des Drahtes für beide magnetische Pole leicht auffinden.

6. Der erste, welcher den bisher oft ausgesprochenen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus, nämlich *dafs der frei schwebende Pol eines Magnetes sich um den elektrischen Leiter umkreisend bewegt*, in seiner eigentlichen Bedeutung auffafste, und dadurch einen Apparat erfand, welcher die so eben in No. 1 bis 5 beschriebenen Bewegungen in sich vereinigt, und das Gesetz selbst in das helleste Licht setzt, war Faraday [1]. Nach seiner Darstellung scheint es mir nicht zwei-

---

1 Ann. Ch. et Ph. XVIII. 337. G. LXXI. 133 ff. Faraday wurde hierauf durch ähnliche Versuche geleitet, als diejenigen sind, welche man oben III. A. No. 5 erwähnt findet. Was er noch weiter über die Lage des magnetischen Poles in Stahlstäben beibringt, nämlich dafs diese in gröfster Stärke nicht an den Enden derselben, sondern mehr nach der Mitte zu liegen sollen, ist hier nicht zu untersuchen, und kommt bei dem für jetzt zu erörternden Versuche nicht in Be-

felhaft, daſs er dieses Gesetz bestimmt auffaſste, und folgenden Fig. 87. Apparat danach construirte. In einer kleinen, im Minimo nur 1,5 Z. langen und 0,3 Z. weiten Glasröhre a b, welche oben etwas zusammengeblasen seyn kann, und daselbst mit einem Korke versehen ist, befindet sich oben das eine zu einem Oehre umgeschlungene Ende eines recht blanken Silberdrahtes (Kupferdrahtes), dessen anderes Ende k zu einem der Pole eines Elektromotors führt. In das genannte Oehr ist das Oehr eines gleichfalls sehr blanken dünnen Platindrahtes geschlungen, welcher mit dem andern geraden in das im unteren Theile der Röhre befindliche reine Quecksilber taucht. Letzteres wird durch den Kork b in der Röhre festgehalten, durch dessen Mitte das blanke Eisenstäbchen c d so gesteckt ist, daſs es mit dem oberen Ende etwas über das Quecksilber hervorragt, mit dem unteren vom Korke etwas entblöſst ist, und hier eine ununterbrochene metallische Fortleitung zum anderen Pole des Elektromotors vermittelst des Drahtes z giebt. Wird dann mit dem unteren Ende des eisernen oder auch stählernen Stäbchens d ein kräftiger Magnetpol in Berührung gebracht, so erhält das andere Ende c die entgegengesetzte Polarität, und bei geschlossener galvanischer Kette läuft der Platindraht um diesen künstlichen Magnetpol in einer durch den elektrischen Strom und die Polarität des Stabes bedingten Richtung [1]. Diese zu bestimmen bedarf es nach dem einmal angenommenen Hauptgesetze keiner künstlichen Demonstration. Es sey zu diesem Ende die Richtung des elektrischen Stromes durch die Bezeichnung der Verbindungsdrähte k und z angegeben; man denke sich den Apparat horizontal im magnetischen Meridiane und k im magnetischen Norden liegend, den Platindraht aber fest, so wird der Nordpol unter demselben östlich abweichen, dann in die Höhe gehoben werden, wiederum westlich abweichen, herabsinken und seinen Lauf aufs Neue beginnen. Denkt man sich nun den Magnetpol fest und den Draht beweglich, so muſs dieser in entgegengesetzter Richtung ihn umkreisen, und diese Bewegung auch beibehalten, wenn man den Apparat in eine verticale Linie richtet. Ein in einem kleinen Maſsstabe verfertigter Apparat dieser Art zeigt

---

trachtung, scheint mir aber auf einer Miſskennung der eben erwähnten Erscheinungen zu beruhen.

1 G. LXXI. 135.

die Erscheinung schon bei Anwendung von zwei mäfsig grofsen Platten Kupfer und Zink, wobei nur darauf zu sehen ist, dafs die Metalldrähte recht blank sind, und den elektrischen Strom nicht unterbrechen; ein gröfserer dagegen erfordert kräftigere Elektromotore. Man kann übrigens den unteren Draht z wieder in die Höhe biegen, und den Apparat in die oben III. C. 3. beschriebenen Quecksilbergefäfse x, y′ vermittels der Drahtenden k, z aufhängen, um durch Umkehrung der Richtung des elektrischen Stromes sogleich die umgekehrte Bewegung des Platindrahtes hervorzubringen[1].

7. Es ist indefs nicht zu verkennen, dafs der Platindraht durch den Widerstand des Quecksilbers bedeutend gehindert wird, welches durch Uebergiefsen mit verdünnter Salpetersäure wegen des entstehenden Oxydes nicht aufzuheben ist[2]. Aufserdem hängt der Platindraht vermittelst der Schleife im Kupferdrahte, wodurch der unmittelbare leichte Uebergang des elektrischen Fluidums gehindert und die Reibung vermehrt wird. Ungleich zweckmäfsiger sind daher Schweigger's[3] Apparate eingerichtet, woran nicht blofs das Umlaufen eines elektrischen Leiters *über* einem Pole, sondern auch *um* einen Pol des gewöhnlichen Magnetes nachgewiesen werden kann. Zum Behuf
Fig. 88. des ersteren ist gh eine flache hölzerne Scheibe mit der runden ausgedreheten Rinne rr′, bestimmt zur Aufnahme des möglich reinsten Quecksilbers. Um den Einflufs der Zuleitungsdrähte auf die bewegliche Nadel zu vermeiden, ist der vom positiven Pole ausgehende p in das Quecksilber der Vertiefung r geleitet, der vom negativen q geht unten in die Scheibe eingelassen bis in die Mitte, ist dort umgebogen, geht lothrecht durch das Centrum der Scheibe, und endigt oben in eine angelöthete feine Nähnadelspitze. Auf dieser schwebt vermittelst des kleinen Hütchens

---

1 Ampère's weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand siehe unten E. 6. a.

2 Sturgeon's Drehapparat aus Tilloch's Phil. Mag. 1823. Sept. bei Schweigg. XLI. 241 übergehe ich seiner anscheinenden Bequemlichkeit ungeachtet, weil ich überzeugt bin, dafs bei der Kleinheit der Elektromotoren, welche sich selbst zugleich auch drehen sollen, überhaupt kein Erfolg zu erwarten ist. Besser ist Cumming's Drehapparat in Ann. of Phil. VII. 46. Indefs steht auch dieser den beschriebenen nach.

3 Journ. N. R. XVI. 27.

v die sehr leichte, aber nicht zu kurze, wohl 6 Z. lange messingne oder kupferne Nadel n a mit einem krummgebogenen Ende Platin, bestimmt in das Quecksilber der Rinne zu tauchen, und einem kleinen Gegengewichte n, um das längere Ende zu balanciren[1]. Die Lage des magnetischen Poles und die Richtung des elektrischen Stromes sind an sich klar. Befindet sich unter dem *Apparate* der Südpol eines starken Magnetes, oder wirkt blofs der, wiewohl ungleich schwächere, tellurische Magnetismus[2], *welchem* wir auf unserer Halbkugel südliche Polarität beilegen müssen, so erfolgt die Drehung durch N. nach O. S. W., wenn *die* + El. von N. her eintritt, und vom Quecksilber bei r im Drahte a aufwärts strömt. Denkt man nämlich nach dem Normalversuche den Draht a bei der angegebenen Strömung horizontal gehalten, so wird der Nordpol unter ihm eine östliche, mithin der Südpol eine westliche Richtung erhalten, und diesem nach muſs im letzteren Falle der Draht selbst durch O. und S. nach W. und N. herumlaufen.

8. Für das Umlaufen des galvanischen Leiters *um* einen magnetischen Pol hat Schweigger[3] gleichfalls einen sinnreich ausgedachten Apparat angegeben, an welchem noch obendrein die entgegengesetzte Wirkung der ungleichnamigen Pole gleichzeitig beobachtet werden kann. A B ist ein etwas starkes Brett von hartem Holze, an dessen beiden Seiten die kreisförmigen Rinnen g h; g′ h′ eingeschnitten sind, um das Quecksilber aufzunehmen. Im Centro dieser Rinnen sind von unten herauf die beiden Pole eines Hufeisenmagnetes N, S hinaufgeschoben, so dafs sie nur etwa eine Linie über die Fläche des Brettes hervorragen, wodurch die im Kreise der Elektricität befindlichen Nadeln zum Umlaufen um dieselben sollicitirt werden. Es tritt nämlich der elektrische Strom durch den Draht + E, welcher von unten herauf durch das Brett gesteckt ist, bei e in das Quecksilber der ersten Rinne, wird von diesem dem Ende a Fig. 89.

1 Um durchweg die Verbindung vermittelst Quecksilbers zu erhalten, kann man noch bequemer der Nadel bei v eine feine verticale Stahlspitze, und dem oberen Ende des Drahtes t ein kleines Schälchen mit einem Tropfen Quecksilber geben.

2 Von diesen Erscheinungen wird erst im folgenden Abschnitte besonders geredet werden, indefs anticipire ich diese kurze Andeutung bei dieser Gelegenheit.

3 Ebend.

des beweglichen Drahtes mitgetheilt, läuft von hieraus durch die Spitze n, welche das Ende eines rechtwinklich gebogenen Kupferdrahtes bildet, dessen Richtung durch das Holz zwischen dem Magnete und dem Quecksilber in der Rinne nach f, f' bis + E, wo er in das Quecksilber der zweiten Rinne durch Umbiegung von unten aufwärts tritt, aus der Zeichnung ersichtlich ist. In der zweiten Rinne ist der Gang des elektrischen Stromes dem ersteren ganz gleich, bis der Draht — E zum zweiten Elektromotor geführt wird. Die leicht balancirten umkreisenden Nadeln sind genau so gemacht, wie die oben beschriebene, und die Richtung beider ist durch die Buchstaben in der Zeichnung angedeutet[1].

9. Dafs der *magnetische Pol* wiederum den *galvanischen Leiter umkreisen müsse*, ist genugsam erwiesen, und es sind die wesentlichsten hierhin gehörigen Erscheinungen oben (III. A.) erwähnt. Indefs wollte Faraday eine, der eben beschriebenen völlig analoge, Umkreisung hervorbringen, welches ihm auch gelang, und wegen des innigen Zusammenhanges beider Erscheinungen habe ich daher die Beschreibung dieser letzteren bis hierher verschoben. Faraday[2] leitete zu diesem Ende den Verbindungsdraht der Elektromotoren durch ein Gefäfs mit Quecksilber, in welchem er einen Magnetstab vermittelst einer gehörigen Menge um seinen einen Pol umgewickelten Platindrahtes so schwimmen machte, dafs blofs der andere Pol oben hervor-

---

1 Diese Apparate sind in einigen Stücken demjenigen nachgebildet, welchen Pohl bei G. LXXIV. 395 angegeben hat, um das Umlaufen eines beweglichen galvanischen Leiters um einen oberhalb oder unterhalb befindlichen magnetischen Pol, oder durch den Einfluss des tellurischen Magnetismus zu zeigen. Ist nämlich die in No. 7 angegebene Nadel leicht genug balancirt, so wird sie auch durch den unter ihr befindlichen tellurischen Südpol in umkreisende Bewegung versetzt werden. Pohl giebt hierbei die nützliche Regel, das Quecksilber möglichst rein und trocken anzuwenden, und ohne verdünnte Säure, welche leicht etwas Oxyd erzeugt, auch bei der Anwendung von blofs kupfernen Nadeln ohne Platinspitzen die Enden mit salpetersaurem Quecksilber etwas zu amalgamiren, dann aber das Quecksilber durch sie blofs berühren zu lassen, und sie zu diesem Ende mit Siegellackfirnifs zu überziehen, damit sie, aufser der unteren amalgamirten Fläche nicht weiter amalgamirt und dadurch tiefer in das Quecksilber gezogen werden. Vergl. G. LXXV. 272.

2 G. LXXI. 139.

ragte, welcher dann um den Verbindungsdraht im Kreise umlief. Newmann[1] verbindet die beiden durch Faraday aufgefundenen Rotationen mit einander auf eine aus der Zeichnung leicht ersichtliche Weise. Die isolirende Säule AB trägt nämlich einen stärkeren Kupferdraht cde, von welchem ein dünnerer in das mit Quecksilber gefüllte Gefäfs M herabgeht, und durch den hierin vermittelst Platin's schwimmenden Magnet p umkreiset wird. Der elektrische Strom nimmt dann seine Richtung durch die Fortsetzung dieses Drahtes von K aus durch den Draht m und den dickeren cde, dann durch den in einem *Oehre* leicht aufgehangenen Platindraht n, welcher um den Magnetpol p′ umkreiset, während er dem Quecksilber im Gefäfse N. die Elektricität zuführt, die durch den Draht Z dem zweiten elektromotorischen Elemente wieder zuströmt[2]. Fig. 90.

10. Dafs sich diese Erscheinungen noch auf mannigfache Weise abändern und vervielfältigen lassen, versteht sich von selbst. Wollte man z. B. statt eines stählernen Magnetes einen elektromagnetischen aus schraubenförmigen Drahtwindungen bestehenden anwenden, so würde der Erfolg der nämliche seyn[3]. Statt eines Gefäfses mit Quecksilber kann auch eins mit Wasser genommen werden, auf welchem der Magnet vermittelst eines *Korkes* schwimmend erhalten wird. Man kann ferner zwei Verbindungsdrähte der Elektromotoren mit gleichen oder entgegengesetzten elektrischen Strömungen, und eben so zwei Magnete mit gleichen oder entgegengesetzten Polen anwenden, wie denn auch vielfache Abänderungen der beschriebenen Erscheinungen von Faraday versucht sind; allein die hierzu erforderlichen complicirten Apparate, und die dadurch erhaltenen verwickelten Resultate dienen keineswegs dazu, die Sache mehr aufzuklären, vielmehr können sie leicht Verwirrung herbeiführen, und ich übergehe sie daher um so mehr, als mir nach sorgfältiger Prüfung kein genauer Versuch vorgekommen ist,

---

1 G. LXXII. 113.

2 Ampère hat diese verschiedenen Drehungen in einem sinnreich construirten Apparate vereinigt, welcher unten No. 12 beschrieben ist. Seinen älteren Drehungsapparat hat James Marsh verbessert, S. Tilloch's Phil. Mag. 1822 Juin, daraus in Bibl. univ. XX. 258. Indefs übergehe ich diesen der Kürze wegen.

3 Faraday bei G. LXXI. 142.

welcher sich nicht mit dem aufgestellten Hauptgesetze vereinigen liefse.

11. Ein Umstand ist indefs allerdings von der Art, dafs er noch eine besondere Erwähnung verdient. C. H. Pfaff erzählt nämlich [1], dafs er zur Widerlegung der Faraday'schen Behauptung der aus dem galvanischen Schliefsungsdrahte hervorgehenden anziehenden und abstofsenden Kräfte eine Vorrichtung hergestellt habe, bei welcher ein Magnet um einen lothrechten Schliefsungsdraht umherkreisete, und dieser sich zu gleicher Zeit in entgegengesetzter Richtung um seine Axe drehete, ohne dafs hierdurch weder die Geschwindigkeit noch auch die Richtung des magnetischen Poles irgend eine Aenderung erlitt. Letzterer Erfolg ist aber nothwendig und im Wesen der Sache gegründet, ohne dafs sich daraus etwas für oder wider eine der aufgestellten Theorieen folgern läfst. Die elektromagnetische Wirkung eines Schliefsungsdrahtes hängt nämlich durchaus nicht von seiner Form und auch nicht von denjenigen Theilen ab, welche nach der einen oder der andern Seite gerichtet sind, sondern blofs von der Leitung, welche er der durchströmenden Elektricität darbietet, und es ist nicht sowohl der Draht selbst, als vielmehr der Strom der Elektricität in ihm, welcher den Magnetismus in ihm hervorruft, gegen welchen er selbst ganz indifferent ist, aufser sofern er der an ihn gebundenen Elektricität zum Vehikel dient, und seinerseits wieder den Magnetismus gebunden hält. So wie es daher rücksichtlich der elektromagnetischen Wirkung eines bestimmten Theiles des Leitungsdrahtes ganz gleichgültig ist, ob der Draht vor oder hinter diesem Theile auf die mannichfachste Weise gewunden und gerichtet wird, (oben III. A. 1.) eben so ist es auch ganz gleichgültig, ob derselbe bei unveränderter Richtung des elektrischen Stromes um seine eigene Axe gedreht wird oder nicht.

12. Uebrigens liegt es in der Natur der Sache, dafs der elektromagnetische Leitungsdraht durch den Pol eines Magnetes sollicitirt werden mufs, um seine Axe zu rotiren. Hat nämlich, abgesehen von jeder Theorie, und das bekannte *elektromagnetische Hauptphänomen* in seiner ganzen Einfachheit genommen,
Fig. 91. der Leitungsdraht A die von seinem Centro γ ausgehende Kraft[2],

---

1 Der Elektromagnetismus S. 166.

2 Ueber dieses Vorhandenseyn der elektrischen Strömung, und

einem magnetischen Pole a eine Bewegung mitzutheilen, wodurch er in die Lage a' kommt, so muſs dieser hinwiederum jenen durch den Winkel $\alpha\gamma\alpha'$ um seine Axe zu drehen streben. Faraday[1] war der erste, welcher diesen Satz aus der ihm gelungenen Umkreisung eines Leitungsdrahtes um einen Magnetpol folgerte, ohne daſs es ihm gleich anfangs gelang, die Aufgabe durch einen Versuch zu lösen. Später hat er zwar auch dieses erreicht, allein es war abermals der unermüdete Ampère[2], welcher diese Andeutungen weiter verfolgte, und das gesuchte Phänomen durch einen sinnreich construirten Apparat darstellte, vermittelst dessen sich mit geringen Abänderungen die verschiedenen Rotationen hervorbringen lassen[3].

Der ganze Apparat besteht aus einem dreifüſsigen Tische, Fig. 92. auf welchem das gläserne Gefäſs XY mit seinem Fuſse M feststeht. Einander diametral gegenüber ist an der einen Seite der kupferne Stab EF befestigt, an dessen unterem Ende das Schälchen mit Quecksilber O festsitzt, am oberen F aber der auf- und abwärts verschiebbare horizontale metallene Stab FG, mit einem kupfernen Ringe GIH, welcher etwas enger ist als die Oeffnung des Glases, und sich von oben herab so in dieses herabsenken läſst, daſs er das Quecksilber berührt, wie die Figur zeigt; an der andern Seite dagegen ist der runde Kork U durch eine Oeffnung im Tische gesteckt, und dient als Halter des Metalldrahtes AB mit einem Quecksilberschälchen O' an seinem unteren Ende, oben bei B horizontal, bei D lothrecht herabwärts gebogen, so daſs seine Spitze Z sich in der Axe des Glasgefäſses in das Quecksilber tauchen läſst. Im Quecksilber endlich schwimmt lothrecht der Magnetstahl NS mit seinem hervorragenden Pole N und unten mit einem eingeschobenen Platingewichte P. Wird dann der elektrische Strom vom Gefäſse O durch den kupfernen Ring zum Quecksilber im Glase XY, und von hier durch ZDBA zum Gefäſse O' geleitet oder umgekehrt, so wird der Magnet um den lothrechten Draht ZD nach der Richtung des elektrischen Stromes sich nach der einen

---

des dadurch erregten Magnetismus im Innern des Drahtes vergleiche unten IV.

1 G. LXXI. 139.

2 G. LXXII. 268.

3 Vergl. oben No. 9 u. 10.

oder der entgegengesetzten Seite umherbewegen. Die Ursache hiervon liegt in diesem lothrechten Ende des Leiters, und der kupferne Ring dient bloſs dazu, den Magnetpol allerseits durch den Leiter der Volta'schen Elektricität zu umgeben, und nicht zwischen zwei Leiter zu bringen, indem die Wirkung auch dann erfolgt, wenn die Leitung unten durch das Quecksilber geht, wie NEWMANN's Apparat (oben No. 9) beweiset[1].

13. Eben diesen, nur wenig abgeänderten Apparat benutzt AMPÈRE[2], um die Drehung eines beweglichen Leiters um seine eigene Axe hervorzubringen. Zu diesem Ende wird auf die kupferne Säule E F eine Glassäule gekittet, welche den kupfernen Arm L K mit der Hülse K trägt. Durch diese wird ein Magnet c c' senkrecht herabgelassen, und mit der Schraube V festgeklemmt. An dem unteren Ende c' des Magnetes ist eine stählerne Spitze eingeschroben, nachdem zuvor in die Vertiefung der Schraube etwas Quecksilber gegossen und dann die Spitze so eingeschroben ist, daſs das Quecksilber zu vollständigerer metallischer Verbindung sich zwischen die Schraubenwindungen setzt. Der Draht A B D wird dann so weit heraufgezogen, daſs seine Spitze Z in eine mit Quecksilber gefüllte Vertiefung im andern Ende des Magnetes herabgeht. In dem Quecksilber des Gefäſses schwimmt ein Kupferdraht N N, an dessen unterem Ende sich ein Stück Platin befindet, um ihn in lothrechter Richtung zu erhalten, am oberen aber das mit Quecksilber gefüllte Schälchen U V, in welches die stählerne Spitze des in den Magnet geschrobenen Stückes herabgeht, und somit also den Kreislauf der Elektricität vom Gefäſse O' zum Gefäſse O herstellt, wodurch der Kupferdraht vermöge des Einflusses des Magnetes in eine Drehung um seine Axe versetzt wird.

Fig. 92.

Fig. 93.

Um auch dieses Phänomen mit allen übrigen unter das all-

1 Die Erklärung, welche AMPÈRE und seine Anhänger, namentlich DEMONFERRAND in Handbuch der dynamischen Elektr. §. 77 von dieser Erscheinung geben, lasse ich weg, weil sie nicht durch die Beobachtung gegeben ist, sondern aus seiner Theorie folgt. Man findet sie auch bei Gilbert a. a. O. Es scheint mir weit zweckmäſsiger, alle Phänomene vorläufig auf ein eben so einfaches als unbestreitbares Hauptphänomen, was der berühmte Erfinder dieses Gegenstandes zuerst entdeckte, zurückzuführen.

2 a. a. O. S. 173.

gemeine Gesetz zu bringen, darf man sich nur vorstellen, dafs die den magnetischen Pol a nach a′ treibende Kraft sich bis α′ erstrecke, der bewegte Magnetpol aber nach γ zu bis hinter α′ und zuletzt bis in γ selbst gerückt werde, wonach dann die Drehung des Kreises A nothwendig erfolgen muss. Indefs ist hierbei die Hebelkraft geringe, und daher die Drehung auch nicht blofs langsam, sondern so schwach, dafs man durch einige Erschütterung den bewegenden Kräften zu Hülfe kommen mufs. Es wird aber die Drehung schneller und läfst sich durch kleinere Elektromotore erhalten, wenn statt eines massiven Stabes NN eine kupferne Röhre genommen wird, welche dann zur Erhaltung einer lothrechten Lage nur eines geringeren Platingewichtes bedarf. Bei einer solchen hohlen Röhre ist allerdings die zu bewegende Masse geringer, und würde sonach auch nur einer geringeren Kraft zur Erzeugung einer Bewegung bedürfen. Allein da das Gewicht in dem vorliegenden Falle statisch im Quecksilber getragen wird, mithin rücksichtlich der Masse nur anfangs die Trägheit zu überwinden ist, die Adhäsion der Röhre an das Quecksilber aber wegen gröfserer Oberfläche gröfser ist als bei einem massiven Stabe, so scheint die Winkelkraft aγa′ bei der Röhre gröfser zu seyn, weil die elektromagnetischen wirksamen Puncte αα′ (wenn man sich anders dieses Ausdrucks bedienen will) in ihr weiter vom Centro γ entfernt liegen, oder in dem Metalle der Röhre einen stärkeren Widerhalt haben, als im massiven Stabe. Fig. 91.

14. Einen sinnreich construirten Apparat hat Barlow[1] erfunden, und man mufs gestehen, dafs bei demselben die Wirkung des Magnetes auf den Leiter der galvanischen Elektricität beim ersten Anblicke etwas paradox scheint. Barlow fand nämlich, dafs der Draht im Faraday'schen Rotationsapparate (oben No. 6.) durch einen genäherten Hufeisenmagnet aus dem Quecksilber gezogen wurde, und alsobald in dasselbe zurückfiel, weswegen er glaubte, man könne auf diese Weise eine dauernde Bewegung hervorbringen. Die hierzu gewählte Vorrichtung ist folgende. AB ist ein vierkantiges Brett von hartem Holze, worauf die zweimal gebogene kupferne Stange CDE ruhet. An dieser befindet sich der dünnere Kupferdraht abcd angelöthet, welcher unten durchschnitten, und mit feinen Pfannen versehen Fig. 94.

1 Bibl. univ. XX. 127.

Fig. 95. ist, damit das kupferne Rad VW mit den sehr feinen stählernen Spitzen seiner Axe $a a'$ hineingesenkt, sich sehr leicht bewegen kann. In der Mitte hat das Brett eine Vertiefung fg mit einer etwas hervorlaufenden Rinne i, worin Quecksilber ausgegossen und zum Ueberfluſs mit einer Lage sehr verdünnter Salpetersäure bedeckt ist. Endlich wird ein starker Hufeisenmagnet HM in die Lage gelegt, welche die Zeichnung angiebt. Setzt man den Kupferdraht CDE mit dem einen Pole eines stark wirkenden Volta'schen Apparates in Verbindung, den andern mit dem Quecksilber in der Rinne i, so fängt das Rad an um seine Axe zu laufen, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daſs das Auge nicht folgen konnte. Um indeſs dem elektrischen Strome eine hinlänglich gute Leitung darzubieten, müssen die Zapfenlager, die Zapfen selbst und auch die Zähne des Rades amalgamirt seyn[1]. Barlow bediente sich bei seinen Versuchen eines Hare'schen Calorimotors aus 20 Kupfer- und Zink-Platten, jede von 10 Z. Seite; doch soll auch ein schwächerer Apparat die Wirkung hervorbringen. Werden die Pole der elektrischen Leiter oder die des Magnetes umgekehrt, so wird die Drehung des Rades die entgegengesetzte.

Will man diese Erscheinung auf das anfangs aufgestellte allgemeine Gesetz zurückbringen, *daſs der magnetische Pol um den Verbindungsdraht zweier Elektromotoren herumläuft*, so darf man nur auf den No. 5 beschriebenen Versuch zurückgehen,
Fig. 86. wonach das Ende des Drahtes ab unter den gegebenen Bedingungen durch den Nordpol des Magnetes herabgezogen wird, wenn dieser sich an der Auſsenseite desselben befindet, an der innern würde er ihn aber in die Höhe heben, und dort wird ihn also der Südpol gleichfalls herabziehen. Werden also die beiden freundschaftlichen Pole eines Magnetes dem Drahte an den entgegengesetzten Seiten genähert, so muſs derselbe mit verdoppelter Kraft *herabgezogen* oder in die *Höhe gehoben* werden. Denkt man sich also, daſs jeder Zahn des Rades vor seiner Berührung mit dem Quecksilber das Ende eines solchen Drahtes bilde, so muſs die Drehung hiernach nothwendig erfolgen, und wenn das ganze Rad im elektrischen Strome liegt, so geht dieser auch durch jeden einzelnen Zahn desselben, welcher sonach füglich als ein Theil eines galvanischen Verbin-

---

1 Wie dieses Amalgamiren geschieht, ist oben II. a. E. gezeigt.

dungsdrahtes angesehen werden kann. Es läfst sich nach dieser Ansicht auch leicht die *Richtung* finden, nach welcher das Rad unter gegebenen Bedingungen umlaufen wird.

15. Hiernach bedarf eine Beobachtung HARE's keine weitere Erklärung. Dieser fand nämlich, dafs ein feiner Strahl Quecksilber, welcher aus einem, mit dem einen Pole seines sehr wirksamen Calorimotors in Verbindung gesetzten, Gefäfse auf den einen Fufs eines starken Magnetes herabflofs, dessen anderer Fufs mit dem andern Pole des Elektromotors verbunden war, je nach der Richtung des elektrischen Stromes und der Wahl der magnetischen Pole einwärts oder auswärts gekrümmt wurde [1].

16. Unter die bisher betrachtete Classe von Erscheinungen gehören auch die sehr interessanten von DAVY aufgefundenen mindestens zum Theil, obgleich sie sammt ähnlichen Beobachtungen von ERMAN [2] und HERSCHEL [3] der Hauptsache nach den durch blofsen Galvanismus hervorgerufenen Bewegungen der Flüssigkeiten beigezählt werden müssen. H. DAVY [4] senkte nämlich zwei Enden Kupferdraht $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. tief lothrecht in ein Gefäfs mit Quecksilber, brachte sie in Verbindung mit einem mächtigen Volta'schen Apparate von 200 Quad. F. Metallfläche, und fand beim Halten eines starken Magnetes über oder unter den Drähten, noch mehr aber, wenn er die freundschaftlichen Pole von zwei Magneten einen *über*, den andern *unter* die Drahtenden hielt, eine starke Rotation des Quecksilbers um diese Drähte. Darauf steckte er zwei Kupferdrähte, welche an ihren Enden polirt und übrigens mit Siegellack überzogen waren, von unten durch den Boden eines gläsernen Gefäfses, gofs in letzteres Quecksilber, so dafs es $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. über die Drahtenden überstand, verband sie dann mit den Polen der Säule und fand eine Strömung des Quecksilbers zwischen ihnen in der Art, dafs das Quecksilber sich in Gestalt kleiner Kegel bis eine Linie hoch erhob. Näherte er diesen Kegeln einen Magnet, so wurden sie der gröfseren Annäherung proportional niedergedrückt, und verwandelten sich in Wellen, welche das

1 Ann. of Phil. N. XLVI. 317.
2 G. XXXII. 261.
3 Phil. Trans. 1824. I. 162. Vergl. Edinb. Journ. of Science, IV. 193. Ann. Ch. et Ph. XXVIII. 280.
4 Phil. Tr. 1823. II. 153.

Ende der Drähte concentrisch umgaben, aufgestreueten Körperchen aber keine fortgehende Bewegung mittheilten, indem diese letzteren vielmehr ohne Veränderung ihres Ortes gehoben wurden und niedersanken, wie eine ähnliche Wirkung auch bei den Meereswellen statt findet.

Es lassen sich diese Strömungen auch mit kleineren Apparaten erhalten, wenn man die beiden Drähte N, P einer Volta'-
Fig. 96. schen Säule in das Gefäfs XY mit Quecksilber senkt, und den Magnet AB oder ein Bündel Magnete mit ihren gleichen Polen von oben herab über der Fläche des Quecksilbers zwischen beiden Drähten hält. So wie aber ein *beweglicher* Magnet zum Umkreisen gebracht werden kann, so mufs auch hier eine Umkreisung um den *festgehaltenen* entstehen, welche stärker ist, weil man einen starken Magnet anwenden darf. Um dieselbe leichter wahrnehmbar zu machen, wird etwas gesäuertes Wasser auf das Quecksilber gegossen, damit durch die Gasentwickelung kleine Bläschen entstehen, deren Bewegung die Richtung der Ströme angiebt. Wenn man beide Drähte so nahe an einander in das Quecksilber eintaucht, dafs ein Magnet auf beide zugleich zu wirken vermag, z. B. in einem Abstande von 1 bis 2 Zollen, so werden die Blasen, welche ohngefähr an der Mitte der, beide Eintauchungspuncte verbindenden, Linie befindlich sind, nach einer auf diese Linie senkrechten Richtung fortgetrieben, aus welcher sich dann die Richtung der Ströme beurtheilen läfst. Dafs diese sich ändert, wenn man die Pole des Magnetes oder die Schliefsung des galvanischen Kreises umkehrt, oder auch den nämlichen Pol zuerst von oben dann von unten dem Quecksilber nähert, liegt in der Natur der Sache[1]. Die Erscheinung selbst läfst sich auf den Fundamentalversuch Oersted's einfach zurückführen, wenn man annimmt, dafs die Leitungsdrähte ihren eigenthümlichen Magnetismus eben so dem Quecksilber mittheilen, als er in ihrer Umgebung vorhanden auf die Magnetnadel wirkt, und dafs dann der genäherte Magnet im Quecksilber die beobachtete Bewegung verursacht.

17. Hieran reihet sich ein höchst interessanter Versuch, welcher leider nur wenigen zugänglich ist. H. Davy liefs durch Pepys die grofse Volta'sche Batterie des Royal Institution aus 2000 Doppelplatten Zink und Kupfer in Thätigkeit setzen, wo-

---

1 Demonferraud a. a. O. S. 162.

bei eine Mischung aus 1168 Th. Wasser mit 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure angewandt wurde. Die beiden Schliefsungsdrähte waren mit Kohlenstreifen versehen, und zwischen diesen entstand ein Flammenbogen oder eine Säule elektrischen Lichtes, welche in Gemäſsheit der weniger oder mehr verdünnten Luft, worin sie hervorgebracht wurde, eine Länge von 1 bis 4 Z. hatte. Wurde diesem Bogen oder dieser Säule ein mächtiger Magnet unter einem sehr spitzen Winkel mit seinem einen Pole gegenüber gehalten, so wurde sie von demselben mit einer rotirenden Bewegung angezogen oder abgestoſsen, oder nach der verschiedenen Lage der Pole zum Umkreisen gebracht, und zwar, wenn die negative Seite der Batterie rechter Hand stand, bewirkte der Nordpol Abstoſsung, der Südpol Anziehung. Der Magnet wirkte auf die elektrische Flammensäule leichter, und ihre Bewegung war schneller, wenn sie durch dichtere Luft ging, als durch verdünnte[1].

18. Vor allen Dingen verdient hier noch ein Versuch von Pohl erwähnt zu werden[2], welcher um so wichtiger ist, als durch diesen allein die so vielfach bestrittene Frage über polare Linien im Umfange des galvanischen Leiters ihrer Beantwortung etwas näher gerückt zu werden scheint. Pohl verfertigte einen sehr leichten cylindrischen Reif von leichtem Kartenpapier 2 Z. Fig. 97. im Durchmesser und 1 bis 1,5 Z. Höhe haltend, schloſs ihn oben mit einem sehr dünnen Glimmerblättchen, und überzog das Ganze auf beiden Seiten mit Stanniol, welcher durch die punctirte Linie angedeutet ist. Eine Stahlspitze unten machte ihn in dem Quecksilberschälchen a drehbar, und das Quecksilber im oberen Behälter b stellte die Verbindung zwischen den beiden Polen der Elektromotore her, so daſs dieselbe von oben her durch den ganzen Umfang des Cylinders ging. Eine diesem letzteren genäherte Magnetnadel zeigte zwar überall eine gleiche Abweichung, wurde aber der Pol eines starken Magnetes genähert, so zeigten sich in einem Abstande von etwa $\frac{1}{6}$ des Umfanges entgegengesetzte polare Linien, welche Pohl von partieller Leitung ableitet, indeſs verdient der Versuch allerdings mit vorzüglich starken Apparaten wiederholt zu werden, indem

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.
2 G. LXXIII. 252.

auf diesem Wege vielleicht die Theorie des Elektromagnetismus zur Begründung kommen könnte.

19. Schliefslich mufs, in Beziehung auf die in diesem Abschnitte untersuchten Erscheinungen noch bemerkt werden, dafs die Einwirkung des stärksten, dem Leitungsdrahte genäherten, Magnetes den Magnetismus desselben weder erhöhen, noch schwächen, noch auch umkehren kann, wie solches bei einem natürlichen oder künstlichen Magnete der Fall ist. Schon Erman[1] bemerkte dieses bei seinen frühesten Versuchen, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel darin, dafs der Stahl für den Magnetismus in gewissem Sinne ein Nichtleiter ist, und die in ihm einmal bewirkte Trennung beider Magnetismen durch äufsere Einwirkung afficirt werden kann. Der elektrische Leitungsdraht dagegen ist ein Leiter des Magnetismus, die Hervorrufung desselben geschieht in jedem Augenblicke aufs Neue durch den elektrischen Strom, welcher, als hierbei wirkende Ursache, durch den Magnet nicht selbst afficirt wird, folglich auch in seiner Wirkung dadurch nicht gestört werden kann. Diesem analog ist Poggendorf's Beobachtung, dafs ein Magnet, welcher einen Theil des elektrischen Leiters bildet, hierbei blofs als Metall wirksam ist, ohne Einflufs seiner Polarität.

D. Wirkung des tellurischen Magnetismus auf die elektrischen Leiter.

Es ist oben (unter C im Anf.) schon bemerkt, dafs ein jeder Leiter des elektrischen Stromes, welcher durch einen Magnet in Bewegung gesetzt wird, auch dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgen mufs, wenn er anders hinlänglich beweglich ist, um durch diese geringe Kraft bewegt zu werden. Dafs aber die Kraft des tellurischen Magnetismus sehr geringe sey in Vergleichung mit derjenigen, welche natürliche oder künstliche Magnete besitzen, davon überzeugt man sich bald, wenn man berücksichtigt, wie leicht die durch den tellurischen Magnetismus in ihrer Lage erhaltenen Magnetnadeln durch einen nur schwachen Magnet abgelenkt werden. Diesem nach können nur wenige der beschriebenen Apparate dazu dienen, elektromagnetische Magnetnadeln abzugeben; indefs hat man eine genügende Menge solcher Vorrichtungen construirt, welche deut-

1 Umrisse u. s. w. S. 22.

lich zeigen, dafs auch der elektrische Leitungsdraht sich in dieser Hinsicht als eigentlichen Magnet zeigt.

1. Die oben (III. A. 11.) beschriebene Spiralscheibe erhält im Kreise der galvanischen Elektricität bei nicht zu schwachen Elektromotoren eine solche magnetische Intensität in ihrem Centro, dafs sie die Pole starker Magnetnadeln ablenkt und festhält. Ist sie daher an den Enden des Drahtes, woraus sie gewunden wurde, durch Einsenken derselben in Quecksilber in den elektrischen Strom gebracht, und entweder auf feinen Spitzen dieser Enden oder an einem ungezwirnten Seidenfaden hinlänglich beweglich balancirt, so wird sie sich mit ihrer Nord- und Südseite nach diesen beiden Weltgegenden einrichten, folglich mit ihrer Fläche den magnetischen Meridian normal durchschneiden.

2. Auch der oben (III. C. 1.) beschriebene Ermansche Rotationsapparat zeigt zum Mindesten einiges Bestreben, sich nach seiner Polarität in den magnetischen Meridian zu richten, insbesondere wenn er unter einer Glasglocke befindlich gegen jeden Luftzug gesichert ist. Allein die Aeufserungen dieser Polarität sind nur schwach, und man mufs, um die Wirkungen mit Sicherheit zu erhalten, zu den spiralförmigen oder noch besser zu den schraubenförmigen Windungen des Leitungsdrahtes seine Zuflucht nehmen. Aus der (oben III. B. 11.) gegebenen Darstellung der Art, wie ein solcher gewundener Draht wirkt, ergiebt sich nämlich sehr auffallend, dafs beide Polaritäten durch die Zahl der Windungen an Stärke zunehmen müssen. Man wendet daher auch gegenwärtig nur solche Windungen an, wenn man sogenannte elektrische Magnete darstellen will.

3. Ampère, welcher durch seinen unermüdeten Eifer und die vielen von ihm ausgesonnenen Apparate die neue Entdekkung so ausnehmend gefördert hat, dafs er mit Recht der Begründer des Elektromagnetismus in dem Umfange, wie wir ihn jetzt kennen, genannt werden kann, war der erste, welcher einen aus schraubenförmig gewundenem Drahte nachgebildeten Magnet darstellte, und obgleich derselbe, wahrscheinlich wegen seines zu grofsen Gewichtes und der minder leicht beweglichen Balancirung sich durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus nicht in den magnetischen Meridian richten wollte, so verdient doch dieser erste Apparat als das Muster aller späteren des geschichtlichen Interesses wegen aufbewahrt zu werden. Dafs diese Ursache die alleinige des Nichtgelingens dieses

Versuches war, geht sehr augenfällig daraus hervor, daſs Ampère einen bloſsen kreisförmigen, aber sehr leicht schwebenden Draht durch den Erdmagnetismus bewegt werden und sich polarisch richten sah[1]. Der eigentlich für diesen Zweck bestimmte, aber schon durch die gebrauchten Glasröhren zu schwere Apparat war auf folgende Weise construirt. Ein Messingdraht, dessen eine Spitze in das mit Quecksilber gefüllte Gefäſs N am Glasstabe ROP gesenkt war, ging in der Richtung KHF zweimal gebogen herab, wurde bei F in eine krummgebogene Glasröhre gesteckt, durch dieselbe geführt, bei B in schraubenförmigen Windungen um dieselbe geschlungen, ging zur zweiten Glasröhre C bis A in gleichen Windungen fort, war hier wieder durch die Glasröhre geführt bis D, von wo aus er sich bei G in das zweite Quecksilbergefäſs M senkte. Wurden dann die beiden Leiter der Elektricität von den entgegengesetzten Polen eines Elektromotors in die Quecksilbergefäſse getaucht, so muſste dieses Drahtgewinde einen bipolaren Magnet bilden[2]. Diesen nämlichen Apparat machte v. Althaus an einem Seidenfaden schweben, und erhielt den gewünschten Erfolg[3].

Fig. 98.

4. Wenn bei der groſsen Fülle elektromagnetischer Apparate die durch Neef[4] angegebenen schwimmenden Nadeln, und die durch de la Rive[5] diesen sinnreich nachgebildeten, gegenwärtig durch zweckmäſsigere Vorrichtungen verdrängten, übrigens aber nicht bloſs dem Magnete, sondern auch dem tellurischen Magnetismus gehorchenden elektromagnetischen Nadeln der Kürze wegen nur geschichtlich erwähnt werden dürfen, so gebührt dagegen Raschig's[6] mikroelektromagnetischem Compaſs für immer eine Stelle in vollständigen Sammlungen dieser Apparate. Dieser ist dem eben beschriebenen Ampère's nachgebildet, aber dem gewünschten Zwecke um so mehr angemessen, als er ganz nach Art einer wirklichen Magnetnadel durchaus freie Bewegung hat. Man nimmt zu demselben einen gewöhnlichen Federkiel, schabt ihn zum Ueberfluſs noch etwas

1 G. LXVII. 254.
2 G. LXVII. 238.
3 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 18.
4 Schweigg. Journ. XXXI. 32.
5 G. LXIX. 81.
6 G. LXIX. 207. Vergl. LXVII. 431.

dünner, umwickelt ihn schraubenförmig mit feinem übersponnenen Kupferdrahte, und bindet diesen an beiden Enden mit Seide fest, führt das eine Ende desselben a d herabwärts, und löthet es bei h an eine kleine Zinkscheibe, das andere Ende b c aber bei i an einen etwas platt geklopften kupfernen oder silbernen Fingerhuth, oder einen diesem ähnlichen kleinen Becher e, welcher mittelst zweier Seidenfäden f g an dem Federkiele aufgehangen ist, bringt den Federkiel selbst an den zwei Fäden m, n in eine horizontale Lage, und hängt ihn frei und leicht beweglich an einem zum Tragen desselben hinreichend starken, übrigens möglichst feinen, Faden ungezwirnter Seide auf. Am besten versieht man ferner den Zinkstreifen mit einer über seine drei, im kupfernen Becherchen befindlichen, Kanten aufgetragenen mäfsig dicken Lage Siegellack, und befestigt ihn in der Mitte des Fingerhutes stehend vermittelst zweier hervorragender Knöpfchen Siegellack, so dafs er mitten zwischen den Seitenwänden des Kupfers aufrecht steht, ohne metallische Berührung mit demselben, und ohne die Communication der Flüssigkeit von seiner einen Fläche zur andern zu hindern. Wird dann der Becher mit der oben (II. B. 3.) erwähnten Solution von schwefelsaurem Zinke gefüllt, welche wegen ihrer hierfür hinlänglich dauernden Wirkung, und indem sie weder die Zinkplatte noch auch die Seide angreift, für diesen Zweck jeder andern Flüssigkeit vorzuziehen ist, so wird der Apparat nach einigen Schwankungen sich mit seinen Polen in den magnetischen Meridian einstellen, und die Eigenschaften einer gewöhnlichen Declinationsnadel zeigen. Fig. 99.

Statt des eigenen Bechers läfst sich der oben (III. C. 1.) beschriebene Erman'sche doppelte Cylinder für diesen Zweck einrichten. Zum Mindesten habe ich selbst den angegebenen, von feinem Silber möglichst dünn gearbeiteten, dazu gebraucht, ihn mit einer Federspuhle versehen, welche etwa 60 Mal vom Drahte umwunden ist, diese in ihrer Mitte auf ein seidenes Läppchen horizontal über den hohlen Cylinder von Zink zwischen die Fäden *α α* gelegt, die Drahtenden in die Quecksilberbehälter s und I gesenkt, und das Ganze unter einer Glasglocke aufgehangen. Ein genäherter Magnet bringt ihn aus seiner magnetisch polaren Richtung, in welche er sich durch den Einflufs des Erdmagnetismus stellt. Fig. 80.

5. Ampère suchte indefs darzuthun, dafs der Einflufs des

tellurischen Magnetismus auch einfache elektromagnetische Leitungsdrähte in Bewegung setzen müsse. Statt des anfänglich hierzu vorgeschlagenen Apparates hat er später zwei sinnreich ausgedachte angegeben[1]. Der kreisförmig gebogene Draht a b c, dessen Enden mit Seidenfäden zusammengebunden und mit den feinen Spitzen y, x vereinigt sind, werden mit diesen letzteren in die gleichmäſsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates (III. C. 3.) gesenkt. Nach geschlossener galvanischer Kette strömt die Elektricität durch den Draht in einer oder in der entgegengesetzten Richtung, macht dadurch seine eine Fläche nordpolarisch, die andere südpolarisch, und bewirkt hierdurch, daſs er nach einigen Schwankungen sich mit seiner Fläche auf den magnetischen Meridian normal gerichtet einstellt. Weil aber die Arme, welche den Quecksilberschälchen x, y zu Trägern dienen, seine freie Bewegung hindern, so gab er ihm die folgende Einrichtung. Der kreisförmig gebogene Draht hat unten eine runde Oeffnung a b, welche über den Träger des Quecksilberschälchens S am allgemeinen Apparate herabgesenkt werden kann, so daſs die feine Spitze s in dasselbe eintaucht. Am andern Ende des Drahtes befindet sich das kleine Quecksilberschälchen d, und in dieses ist der Draht e f gesenkt, dessen andere Spitze e vermittelst der kleinen Zwinge b′ im Quecksilberschälchen y′ des allgemeinen Apparates festgehalten, und sonach der frei schwebende gebogene Draht in den galvanischen Kreis gebracht wird, durch dessen veränderte Richtung derselbe sich nach einigen Schwankungen polarisch einstellt, oder auch durch schnellen Wechsel dieser Richtung zum anhaltenden Umkreisen gebracht werden kann.

Fig. 100. Fig. 101.

6. Es versteht sich von selbst, daſs man statt eines kreisförmigen Drahtes auch einen rechtwinklich gebogenen wählen kann, und die Wirkung wird auch dann nicht ausbleiben, wohl aber um die Hälfte schwächer seyn, wenn der elektrische Strom nur die eine Hälfte des Rectangels durchläuft. Ein solcher Draht, dessen Spitze y′ in das gleichmäſsig bezeichnete Quecksilberschälchen gesenkt ist, so daſs der elektrische Strom durch a b c d e f bis s gelangt, welche letztere Spitze in das Quecksilberschälchen S getaucht die Fortsetzung des elektrischen Stromes zum zweiten Elektromotor gestattet, wird, durch das Ge-

Fig. 102.

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 405.

gengewicht p balancirt, sich gleichfalls mit seiner Fläche rechtwinklich auf den magnetischen Meridian einstellen, allein dieses geschieht nicht bloſs durch den aufsteigenden oder herabgehenden elektrischen Strom, wie Demonferrand[1] angiebt, sondern eben so sehr durch den horizontalen, indem bloſs das Stück c d des Drahtes nichts zur Wirkung beiträgt. Wenn man den Draht bei s nicht in das Quecksilber senkt, sondern von hieran rückwärts neben dem ersten parallel laufend wieder zurückführt, und oben mit noch einer Spitze versieht, so daſs er sich in den beiden Schälchen x′, y′ frei drehen kann, so wird er ruhen, weil die alsdann einander parallelen entgegengesetzten Strömungen sich wechselseitig aufheben. Eben dieses muſs der Fall seyn, wenn der elektrische Strom zwei einander gegenüberstehende Rectangel a b c d und d $\beta \gamma \delta$ durchläuft. Ist indeſs ein solcher Apparat so eingerichtet, daſs der Abstand des Leitungsdrahtes b c vom Mittelpuncte der Drehung gröſser, mithin seine Hebelkraft ungleich stärker ist als im Drahte a d, so wird die Richtung des ersteren nach Osten oder Westen allerdings erfolgen[2]. Fig. 103. Fig. 104.

7. Der tellurische südpolare Magnetismus wirkt indeſs unmittelbar weder in *horizontaler* noch in *lothrechter* Richtung auf die beweglichen Leiter, wie dieses bei den bisher beschriebenen und den weiter folgenden Apparaten der Bequemlichkeit wegen angenommen ist, sondern in derjenigen Richtung, welche unter jedem Grade der Breite durch die Inclinationsnadel angegeben wird. Indem aber das Umlaufen einer Magnetnadelspitze um den elektrischen Leiter, und die diesem entgegengesetzte des letzteren um einen Magnetpol nur auf tangentielle Kräfte zurückgebracht werden kann, welcher Theorie man auch huldigen möge, so können nur diejenigen Kräfte den beweglichen Leiter in einer horizontalen und in einer verticalen Ebene sollicitiren, welche man durch die Zerlegung der in der Richtung der Inclinationsnadel wirkenden Kraft in ihre componirenden, auf die genannten Ebenen lothrecht gerichteten erhält.

---

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. S. 87.

2 Der etwas zusammengesetztere Apparat, welchen Pont bei G. LXXIV. 401. angegeben hat, ist in so fern vorzüglicher, als an demselben entschieden bloſs die Wirkung lothrechter Drähte beobachtet werden kann.

Pohl hat das unverkennbare Verdienst um die elektromagnetischen Erscheinungen, diese Zerlegung der richtenden Kraft am vollständigsten und gründlichsten vorgenommen, auf gerade, krumme und beliebig gegen den Horizont geneigte bewegliche Leiter angewandt, und die theoretische Demonstration durch geeignete Versuche erläutert zu haben[1]. Unter den verschiedenen von ihm beobachteten Erscheinungen verdient insbesondere folgende hier eine Aufnahme.

Es folgt aus dem Gesagten nothwendig, daſs die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus auf einen geraden, in der Richtung der Inclinationsnadel gegen den Horizont geneigten galvanischen Leiter = 0 seyn muſs. Ist Letzterer aber um eine lothrechte Axe in einem Kreise auf eine solche Weise beweglich, daſs er mit derselben stets einen gleichen Winkel bildet, als welchen die Inclinationsnadel mit ihr macht, so wird die eine der componirenden Kräfte, worein die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus zerlegt werden kann, ihn zu solicitiren anfangen, sobald er die der Inclinationsnadel parallele Lage verläſst, und wird ihr Maximum erreichen, wenn er sich dieser diametral gegenüber im Süden befindet. Das Verhältniſs dieser von 0 bis zu einer endlichen Gröſse wachsenden Kraft, welche den galvanischen Leiter im Azimuth umherbewegt, wird sich ändern, und mit einem endlichen Werthe anfangend mehr oder minder zunehmen, je nachdem der Winkel ist, welchen der bewegliche Leiter mit der Inclinationsnadel bildet, den anfänglichen Stand desselben im Norden angenommen, bis sie für 90 Grade verschwindet, in welchem Falle der bewegliche Leiter astatisch werden würde. Um einige der vorzüglichsten Erscheinungen, welche aus dieser theoretischen Betrachtung folgen, durch einen Versuch zu beweisen, befestigte Pohl auf ei-

1 G. LXXIV. 389. LXXV. 269. Die dort mitgetheilten Berechnungen und Versuche verdienen nach meiner Ansicht mehr Aufmerksamkeit, als sie bei denjenigen gefunden haben, welche sich noch später mit diesem Theile der Naturlehre beschäftigten, indem die geometrischen Demonstrationen alle elektromagnetischen Phänomene aus einem einfachen Principe bündig ableiten. Daſs ich sie in dieser Abhandlung nicht aufgenommen habe, geschah deswegen, weil ich bei dem ohnehin groſsen Umfange, um niemanden zu nahe zu treten, überhaupt keinen Calcül aufnehmen wollte. Vergl. unten Theorie IV. D. 5.

nem Brette A B eine kreisförmige Rinne $\alpha\beta$ mit Quecksilber, er- Fig. 105.
richtete in der Mitte derselben den Träger c e, auf welchem bei e ein Achathütchen befestigt war. In diesem ruhete vermittelst einer feinen Stahlspitze der Kupferdraht h f g, dessen kürzeres Ende durch das bewegliche Gegengewicht h balancirt wurde, während die untere Fläche des längeren das Quecksilber in der Rinne berührte, welchem durch das kleine Quecksilberschälchen f und die aus der Zeichnung an sich klaren Leitungsdrähte der elektrische Strom so zugeführt wurde, dafs sich durch eine aus der Zeichnung ersichtliche zweckmäfsige Vorkehrung die Richtung leicht umkehren liefs. Der Winkel, welchen der Draht f g mit dem Horizonte macht, ist willkührlich, und läfst sich innerhalb gewisser Grenzen abändern, wenn man den Träger c e verkürzt oder verlängert[1]. In einem Versuche war derselbe 71°, und also die bewegende Kraft in Norden = 0, welches sich auch zeigte, wenn man ihn in dieser Lage anhielt. Bei der geringsten Entfernung von diesem genau nördlichen Stande fing er indefs an sich langsam durch O. oder W., je nachdem die Richtung des elektrischen Stromes war, zu bewegen, gelangte mit dem Maximo seiner Geschwindigkeit nach S. und wurde dann mit abnehmender Geschwindigkeit weiter getrieben, so dafs er in einem ganzen Kreise umzulaufen fortfuhr.

8. Indefs erscheint beim Versuche selbst ein einfacher gebogener Draht gegen den Einflufs des tellurischen Magnetismus unempfindlich, wenn sein Gewicht etwas gröfser, der galvanische Strom minder kräftig und die Reibung nebst dem Widerstande des Quecksilbers zu stark sind. Man nimmt daher auch hierbei seine Zuflucht zu den Spiralscheiben, deren zwei an das Ende einer beweglich aufgehangenen Glasröhre so befestigt sind, Fig.
dafs ihre beiderseitigen Flächen entweder auf der Axe der Glas- 106.
röhre lothrecht stehen, oder mit derselben in der *nämlichen* oder einer *parallelen* Ebene liegen. Die Art des Aufhängens dieser Apparate, um den galvanischen Strom durch sie zu leiten, ergiebt sich aus der Zeichnung, und die Richtung, welche sie dann nehmen werden, folgt aus dem oben (III. A. 11.) an-

1 Die Vorrichtung, welche allerdings einen Theil der elektromagnetischen Apparate auszumachen verdient, läfst sich leicht so einrichten, dafs man sie mit dem allgemeinen Apparate von Ampère verbindet, wobei das Gefäfs S die Stelle von e vertreten kann.

gegebenen Magnetismus der Spiralscheiben. Dafs es übrigens besser sey, statt der in Frankreich üblichen Glasröhren zur Befestigung der Drähte und Spiralen von feinem übersponnenen Drahte einen Federkiel nach **Raschig** zu wählen, bedarf kaum einer Erwähnung[1]. Endlich kann man auch statt der Spiralscheiben an den Enden schraubenförmige willkührlich weite Windungen über die ganze Länge des Rohres wählen, oder wie **van der Heyden** gethan hat, weite schraubenförmige Windungen um einen Cylinder bilden, diese mit einer Lage Seidenzeug überkleben, den Draht durch den innern Raum des Cylinders wieder zurückführen, noch eine Lage Windungen bilden, diese abermals mit Seidenzeug überkleben, und auf solche Weise fortfahren, einen Multiplicator aus einer beliebigen Menge über einander liegender schraubenförmiger Windungen zu bilden. Wird dann an das eine Ende des Drahtes eine Scheibe Zink, an das andere eine Scheibe Kupfer gelöthet, und der Apparat vermittelst Kork über einem flüssigen unvollkommenen Leiter der Elektricität schwimmend oder an einem Seidenfaden darüber schwebend erhalten, so dafs die beiden Metallscheiben in die Flüssigkeit eingetaucht sind, so hat man einen beträchtlich starken elektrischen Magnet.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen lassen sich sehr einfach auf den Fundamentalversuch zurückführen. Hieraus folgt nämlich, dafs die Pole der Declinationsnadel von der einen Seite des elektromagnetischen Drahtes angezogen, von der andern abgestofsen werden. Die spiralförmig gewundene Scheibe zeigt aber deutlich, dafs an der einen Seite derselben blofs nordpolarer, an der andern blofs südpolarer Magnetismus wirksam ist, und insofern ein kreisförmig gebogener oder auch ein rectangulärer Draht als ein einzelnes Element einer solchen angesehen werden kann, so geht hieraus nothwendig hervor, dafs alle diese mit ihrer nordpolaren Seite sich nach Norden, mit ihrer südpolaren nach Süden richten, oder ihre Ebenen lothrecht auf die magnetische Mittagslinie gerichtet, zum Stillstande kommen müssen.

Inzwischen sind die sämmtlichen genannten Apparate von d[illegible]rt, dafs sie zunächst nur die Erscheinungen nachbilden, [illegible] Declinationsnadel als Folge des tellurischen Magne-

[1] Dem[illegible]andbuch der dyn. El. §. 46.

tismus zeigt, vermöge dessen sie sich mit ihrer Axe in den magnetischen Meridian stellt. Der tellurische Magnetismus ist aber von der Art, daſs wir in der Richtung der Inclinationsnadel unten einen Südpol, oben einen Nordpol anzunehmen haben. Indem wir aber auf unserer nördlichen Halbkugel den Einfluſs des letzteren vernachlässigen können, so müssen die elektromagnetischen Leitungsdrähte durch den Erdmagnetismus so afficirt werden, als würde ihnen von unten ein südpolarer Magnet genähert.

9. Man kann dieses durch einen um eine horizontale Axe frei schwebenden Draht leicht anschaulich machen. Ist nämlich der mit den Spitzen x, y' versehene Draht rechtwinklich so gebogen, daſs seine Seiten lothrecht herabhängen, das Stück a b aber horizontal schwebt, wenn die Spitzen in die gleichmäſsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates gesenkt sind, und besteht die eine Seite $\alpha\beta$ des Rectangels aus einem isolirenden Stäbchen, an welchem sich das Stück i befindet, dessen Gewicht das des Drahtes bis auf ein Minimum nach balancirt, so wird der letztere sich beim Durchströmen der galvanischen Elektricität durch den Einfluſs des Erdmagnetismus bewegen. Hierbei geht nämlich die Strömung in den beiden lothrechten Seiten αa und βb in entgegengesetzter Richtung, mithin heben sich ihre Wirkungen auf, und es bleibt also nur die der Seite a b übrig. Wie aber die Bewegung derselben seyn müsse, folgt von selbst, wenn man nur berücksichtigt, daſs der Nordpol *unter* dem Leitungsdrahte bei einer Strömung von Norden nach Süden östlich abweicht. Diesemnach ist die Ausweichung oder die dadurch bewirkte Erhebung des Drahtes über der nordpolaren Elektricität westlich, über der tellurischen aber östlich, bei einer Strömung von Süden nach Norden westlich, von Osten nach Westen südlich und von Westen nach Osten nördlich, oder, wie Demonferrand [1] sagt, sie ist allezeit links von der Richtung des elektrischen Stromes. Faraday [2] beobachtete diese Erscheinungen zuerst, sein Apparat war aber minder geeignet, die Sache auf eine leichte und sichere Weise anschaulich zu machen. Fig. 107.

Es folgt hieraus von selbst, daſs die oben (III. C. 5.) be-

---

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. §. 39.
2 G. LXXI. 171.

schriebenen Einwirkungen eines Magnetes auf einen in der verticalen Ebene beweglichen Leiter der galvanischen Elektricität durch den tellurischen Magnetismus nicht hervorgebracht werden können. In diesem Falle nämlich sind die obere und untere Fläche des beweglichen Leiters durch den Einfluſs des magnetischen Poles nicht beweglich, die beiden Seiten aber sind in ihrer Wirkung entgegengesetzt, und heben einander auf[1].

E. Wechselseitiger Einfluſs elektrischer Leiter auf einander.

Daſs die Leiter der Volta'schen Elektricität, insofern sie den Magnet afficiren und von diesem eben wie vom tellurischen Magnetismus afficirt werden, ja sogar eine gewisse Art von Magneten bilden, auch einen wechselseitigen Einfluſs auf einander ausüben müssen, lieſs sich allerdings wohl mit hoher Gewiſsheit aus theoretischen Gründen folgern; indeſs hat Ampère diesen Satz schon damals durch Versuche nachgewiesen, als die Lehre vom Elektromagnetismus noch in ihrer Kindheit war, und gerade diese Erscheinungen seitdem vorzugsweise verfolgt, weil er in ihnen eine Hauptstütze seiner Theorie zu finden glaubt. Indeſs lassen sich auch diese sehr einfach auf das ursprünglich von Oersted aufgefundene Hauptphänomen zurückbringen. Sind
Fig. 108. nämlich a und α die Durchschnitte zweier Leiter der galvanischen Elektricität, welche bei gleicher Richtung des galvanischen Stromes parallel über einander hinlaufen, so wird der Nordpol über α und unter a die bezeichnete Abweichung erhalten, sie selbst aber würden durch die Einwirkung des nämlichen Poles nach den Richtungen ab und $\alpha\beta$ getrieben werden, welche einander entgegengesetzt sind. Nimmt man also die magnetischen Pole zwischen ihnen weg, und läſst sie selbst auf einander einwirken, so müssen sie bei gleichlaufender elektrischer Strömung einander anziehen, welches auch dadurch klar wird, wenn man sich vorstellt, daſs die entgegengesetzten Pole zwischen ihnen nach der nämlichen Seite hin getrieben werden. Es wird aber der magnetische Pol durch den Elektromagnetismus

---

1 Die sonstigen Bewegungen der elektrischen Leiter, durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus veranlaſst, lassen sich bequemer mit den Erscheinungen verbinden, welche den Inhalt des nächstfolgenden Abschnittes ausmachen.

ganz um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität herumgeführt. Folgt man diesem, führt den Draht *a* in einem Kreise um den Draht a, zeichnet die Richtung der gleichnamigen Pole zwischen ihnen, und folgert hieraus diejenige Bewegung, welche beide Drähte bei gleichlaufender elektrischer Strömung in einander erzeugen müssen, so erhält man alle hierdurch hervorgebrachte Bewegungen, aus denen die den entgegengesetzten Strömungen zugehörigen leicht abstrahirt werden können. Ampère[1] hat diese gesammten Erscheinungen durch sinnreich construirte Apparate anschaulich gemacht, von denen die meisten eine Aufnahme in die physikalischen Sammlungen verdienen, und daher hier nicht übergangen werden dürfen.

1. Für verschiedene dieser Versuche setzt man den Rectangel MNOP auf den oben (III. C. 3.) beschriebenen Hauptapparat[2], so, daſs die vier Zapfen L, L, L, L, in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Löcher gesteckt werden, und die beiden Spitzen G, H sich in das Quecksilber der gleichmäſsig bezeichneten Vertiefungen senken. Wird dann der rechtwinklich gebogene Draht mit seinen herabgehenden Spitzen x, y, in die gleichbezeichneten Quecksilberschälchen gesenkt, ist R der Leiter des positiven Poles und sind die kleinen Brücken K, k nach der rechten Hand herabgesenkt, so geht der Strom der Elektricität von A nach C, von da nach C′ und G, durchläuft den mit einem Multiplicator aus Streifen des dünnsten Kupferbleches versehenen Rectangel in der Richtung MN, kehrt in das Quecksilber der Vertiefung H zurück, wird durch DD′Bc zur Säule ET geleitet, gelangt in das Gefäſs X, von da nach x, von hier aus in den beweglichen Leiter, nimmt hierin die Richtung x a b c d e f g h i bis y, steigt durch die Säule UF herab, zeigt durch seinen Einfluſs auf das Galvanometer t u v, daſs die galvanische Kette geschlossen sey, und gelangt endlich durch d′ in die Rinne a zum andern Volta'schen Elektromotor. Hierbei hat der elektrische Strom in dem Drahtende d e die nämliche Richtung, als in MN, und beide werden sich daher anziehen. Will man Abstoſsung derselben hervorbringen, so darf nur eine

Fig. 109.

Fig. 110.

---

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 396.

2 Die 83ste Figur, welche den allgemeinen Apparat beschreibt, muſs bei den meisten der folgenden Versuche ohne weitere Anzeige verglichen werden.

der Drahtbrücken K oder k nach der linken Seite hin niedergedrückt werden. Geschieht dieses bei beiden, so sind beide Strömungen, sowohl die in N M als auch in e d der vorigen entgegengesetzt, aber nach gleicher Richtung gehend, wodurch sich nachweisen läfst, dafs die Bewegung nicht durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus hervorgebracht wird. Dieses folgt indefs auch schon daraus, weil der bewegliche Draht astatisch ist, indem der elektrische Strom gleiche Theile desselben in entgegengesetzter Richtung durchströmt. Ist derselbe in den Bechern x, y aufgehangen, so fällt der Punct e lothrecht über N, und die Winkelkraft ist daher geringer, als wenn man ihn in die Schälchen x′, y′ hängt, in welchem Falle er mitten über M N herabhängt.

Fig. 111. 2. Hängt man einen Draht, welcher in der Richtung x a b c d e f g h i y gebogen ist, und in welchem also die elektrische Strömung in den Theilen c d und g h eine einander jederzeit entgegengesetzte Richtung hat, in den Schälchen x, y auf, so werden beide angezogen oder abgestofsen. Im Fall der Anziehung findet kein bleibendes Gleichgewicht statt, weil es kaum vermeidlich ist, dafs nicht einer dieser Drähte dem Rectangel etwas näher kommen sollte, wodurch dann Anziehung bewirkt wird. Verwandelt man aber vermittelst einer der Brücken K oder k die Anziehung in Abstofsung, so kommt der bewegliche Leiter rechtwinklich über N schwebend zum Stillstande. Hängt man ihn aber in die Schälchen y′, x′, in welchem Falle die Strömung von y aus rückwärts geht, folglich in dem unteren Theile von h nach g und von d nach c, so bleibt derselbe durch die einander entgegenwirkenden Anziehungen in Ruhe.

Fig. 112. 3. Eine Abänderung dieses Versuches giebt der bewegliche astatische Leiter, in welchem die elektrische Strömung in der Richtung x′ a b c d e f g h i y′ erfolgt. In den Schälchen x′, y′ aufgehangen wird er sich so lange drehen, bis d e parallel mit N M ist.

4. Ampère wollte auch die Frage beantworten, ob bei diesen Apparaten die lothrechten Drähte zur Hervorbringung der beschriebenen Bewegungen etwas beitrügen. Dafs dieses Fig. 113. wirklich der Fall sey, zeigte ein beweglicher Leiter, in welchem der elektrische Strom von x′ durch a b, dann den Halbkreis b c, von hier durch den lothrechten Draht c d und den ganzen Kreis d e bis f geht, dann den andern Halbkreis f g in

entgegengesetzter Richtung durchläuft, von hier nach h gelangt, und nach durchlaufenem ganzen Kreise h i wieder nach y′ gelangt. Wird dieser bewegliche Leiter in die Schälchen x′ y′ über dem festen Leiter schwebend aufgehangen, so können die Kreise keine Wirkung äufsern, aber dennoch stellen sich die lothrechten Enden mit einer geringen Kraft über den festen Leiter.

5. Auch lothrecht neben einander herabgehende Drähte ziehen sich bei gleicher Richtung des elektrischen Stromes an und stofsen sich bei entgegengesetzter ab. Um dieses zu zeigen, setzt Ampère einen andern festen Leiter an die Stelle des bisherigen, dessen Zapfen L, L, L, L, gleichfalls in die gleichmäfsig bezeichneten Löcher des Hauptapparates passen, indem zugleich die Metallspitzen G, H sich in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen senken. Hiernach geht der elektrische Strom dann von H aus aufsteigend durch m n und kehrt durch o p nach G zurück, oder in umgekehrter Richtung. Wird dann der bewegliche Draht in die Gefäfse x, y aufgehangen, wobei die Seite b c parallel neben n m herabhängt, so werden diese beiden Drähte bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme einander anziehen, bei entgegengesetzter aber abstofsen. Diese Erscheinungen lassen sich auch an dem (oben III. C. 2) beschriebenen, durch v. Althaus angegebenen Apparate nachweisen, wenn man neben der lothrechten Seite des beweglichen Leiters einen mit ihm parallelen Draht herauffühat, und durch diesen den elektrische Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung leitet. Fig. 114. Fig. 111.

6. Krummgebogene Drähte sind in ihrem Verhalten den geraden gleich. Um dieses zu zeigen, stellt man den eben beschriebenen Apparat so, dafs die Metallspitzen G′, H′ in die Vertiefungen mit Quecksilber gesenkt werden. In diesem Falle steigt der galvanische Strom von H′ aus durch r u aufwärts, am gebogenen Drahte t v herab, durch p o wieder aufwärts und durch n m wieder herab, um durch G′ weiter geleitet zu werden. Der bewegliche gewundene Draht wird dann in die Gefäfse x, y, so gehangen, dafs seine Seite b c zwischen den beiden Drähten n m und t v herabhängt, und weil derselbe für die Anziehungen nicht füglich in gleiche Entfernung von beiden gebracht werden kann, so wählt man für den beweglichen Leiter b c die entgegengesetzte Strömung, in welchem Falle er von Fig. 114. Fig. 111.

den beiden Drähten nm und tv gleichmäfsig abgestofsen wird, und in der Mitte zwischen ihnen zur Ruhe kommt.

7. So wie ein beweglicher elektrischer Leiter einen magnetischen Pol, und wiederum dieser jenen fortwährend umkreiset, so mufs dieses auch bei zwei elektromagnetischen Leitern der Fall seyn, wenn einer derselben eine hinlängliche Beweglichkeit hat. Es folgt dieses schon daraus, dafs in den Leitungsdrähten ein ganz eigentlicher Magnetismus erzeugt wird, auch läfst sich die Nothwendigkeit dieser Erscheinungen aus dem
Fig. 108. oben untersuchten Verhalten zweier Leitungsdrähte ableiten, woraus zugleich folgt, dafs bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme der Draht *a* wie ein Nordpol, bei ungleicher Richtung derselben aber wie ein Südpol den Leiter a umkreisen muss.

Für alle diese verschiedenen Rotationsversuche hat Ampère mit seinem oft erwähnten allgemeinen Apparate eine besondere Vorrichtung verbunden. Diese besteht aus einem Dreifufse,
Fig. 115. dessen Spitzen I, I, O in die gleichbezeichneten Löcher, die Drahtenden H, G aber in das Quecksilber der gleichbezeichneten Vertiefungen gesenkt werden. Auf diesen, gleichfalls mit einem
Fig. 116. Multiplicator umgebenen, Dreifufs wird ein kupfernes Gefäfs so gestellt, dafs die Metallspitze I in die gleichbezeichnete Vertiefung des Dreifufses kommt, von wo aus ein Kupferdraht nach O herabgeht. Dieses Gefäfs wird mit verdünnter Säure gefüllt, in welche die rotirenden Apparate gesenkt werden. Hängen dann in den Schälchen x, y; x′, y′ keine bewegliche Leiter, so geht der elektrische Strom nicht durch diese, sondern nachdem er den Multiplicator des Dreifufses durchlaufen hat, welcher aus einem mehrmals umgewundenen schmalen Streifen des dünnsten Kupferbleches besteht, dessen Enden in G und H gesenkt sind, so gelangt er zur Rinne B, zur Vertiefung c′, und unter der Voraussetzung, dafs die Brücke k nach der rechten Hand herabgedrückt ist, nach dem Schälchen S, welches durch die Oeffnung I′ in dem kupfernen Gefäfse in die Höhe geschoben wird, durchläuft den darin aufgehangenen beweglichen Leiter, dringt durch die verdünnte Säure des Gefäfses und diese selbst, und gelangt durch die Rinne O o d′ zum negativen Leiter. Will man statt des runden festen Leiters einen geraden
Fig. 109. anwenden, so wird hierzu der oben beschriebene Rectangel benutzt, indem man denselben umdrehet, die Zapfen L, L, L, L in die Löcher L′, L′, L′, L′ steckt, die Spitzen G, H aber in die

gleichbezeichneten Vertiefungen, wodurch der Multiplicator desselben eine Tangente an dem Umfang des beweglichen Leiters bildet.

Zu den Rotationsversuchen hat AMPÈRE ferner drei Apparate eingerichtet, welche sämmtlich aus einem dünnen Streifen Kupferblech an Drähten hängend bestehen, und wobei der erstere in die verdünnte Säure gesenkt wird, während das Gewicht des Ganzen auf einer feinen Spitze ruhet. Der eine dieser Apparate hat längere lothrechte Drähte ab und cg, und bei dem Gebrauche desselben muſs daher die Stange mit dem Quecksilbergefäſse S höher heraufgerückt werden, welches wegen der Feder II' leicht zu bewerkstelligen ist. Ein kleiner Streifen Holz gd unterbricht den elektrischen Strom, welcher also von s ausgehend durch ba dem kupfernen Ringe zugeführt wird. Der zweite bewegliche Leiter hat die lothrechten Drähte nicht, sondern nur einen horizontalen Träger, und da auch dieser durch ein hölzernes Stäbchen gd unterbrochen ist, so gelangt der elektrische Strom von s aus durch a zum metallenen Ringe. Der dritte ist diesem übrigens vollkommen gleich, jedoch hat er bei t ein kleines Stückchen Elfenbein, welches die elektrische Strömung unterbricht, und wobei es einen Unterschied in den Resultaten macht, ob dieses zwischen a und f oder zwischen a und e eingesetzt ist. Zur Erzeugung einer klareren Uebersicht mögen die Erscheinungen, welche ein jeder dieser beweglichen Leiter darbietet, einzeln betrachtet werden.

Fig. 117. Fig. 118. Fig. 119.

a. Wird der erste bewegliche Leiter der Einwirkung des runden Multiplicators ausgesetzt, so drehet er sich anfangs mit beschleunigter, bald aber mit gleichbleibender Geschwindigkeit um die Spitze s. Läſst man dagegen den geradlinigen Multiplicator darauf wirken, so kommt er in eine feste Lage, indem die Ebene des Rectangels abcd der Ebene des geradlinigen Multiplicators parallel wird, und zwar so, daſs die Seite ab dem elektrischen Strome in MN *entgegen* gerichtet ist, wenn seine Richtung in ba *herabwärts* geht, und *mit* demselben, wenn sie in ab *aufwärts* steigt, beides in Folge der Abstoſsung ungleichgerichteter Strömungen. Wirkt auf diesen beweglichen Leiter bloſs der tellurische Magnetismus, so stellt sich seine Ebene senkrecht auf den magnetischen Meridian, und zwar ab im *Westen* stehend, wenn die elektrische Strömung *aufsteigend* ist, im *Osten* aber, wenn sie *herabwärts* geht.

Dieser Apparat kann auch dazu benutzt werden, die durch FARADAY zuerst aufgefundene, oben (III. C. 6) beschriebene Umkreisung des beweglichen Leiters um einen gemeinen Magnetpol zu zeigen. In diesem Falle ist es besser, das hölzerne Stäbchen g d wegzulassen, damit der elektrische Strom von s aus durch beide herabgehende Drähte b a und c d zum unteren Ringe und dem flüssigen Halbleiter gelange, weil beide dann gegen einen in gleicher Entfernung zwischen ihnen befindlichen Magnet ein gleiches Verhältniſs erhalten. Es wird dann durch Herausheben der Metallstreifen H, G aus den Quecksilberschalen die Einwirkung des runden Multiplicators aufgehoben, statt dessen aber wird der Nordpol eines Magnetes neben den Träger des Schälchens S, oder es werden mehrere gleichnamige Pole stählerner Magnete um denselben herumliegend in lothrechter oder geneigter Richtung, selbst horizontal, gehalten. Die Richtung, in welcher die Drehung erfolgt, läſst sich aus OERSTED's Hauptversuche leicht bestimmen. Ist nämlich der zwischengehaltene Pol ein Nordpol, und geht die Strömung in den Drähten von unten aufwärts nach s, so erfolgt die Drehung von Osten durch Norden nach Westen und Süden.

b. Der zweite bewegliche Apparat, bei welchem die Wirkung der verticalen Arme wegfällt, erhält durch die Einwirkung des runden Multiplicators gleichfalls eine fortdauernde Kreisbewegung. Ist hierbei die Richtung des Stromes im Multiplicator von α durch β, γ, δ, und im beweglichen vom Mittelpuncte s nach dem Umfange a; so erfolgt die Drehung nach $\delta, \gamma, \beta, \alpha$, und bleibt die nämliche, wenn die Strömung in beiden Leitern die entgegengesetzte Richtung erhält. Soll die umgekehrte erfolgen, so muſs die Strömung in nur einem von beiden Leitern umgeändert werden. Auch dieses mehr verwickelte Phänomen läſst sich sehr einfach auf das angenommene Hauptgesetz zurückbringen, wenn man mit AMPÈRE annimmt, daſs die Wirkung durch den gemeinschaftlichen Einfluſs des in den Leitern hervorgerufenen Magnetismus erzeugt wird. Ist also die Richtung des Stromes im festen Leiter nach $\alpha\beta\gamma\delta$, im beweglichen aber von s nach a, so heben sich zwar die Anziehungen und Abstoſsungen zweier gleichweit von Q im festen Leiter liegenden Puncte auf; allein indem beide Leiter hierdurch in gegenseitige Ruhe gesetzt werden, so muſs eine Bewegung in derjenigen Richtung erfolgen, in welcher sie sich abstoſsen, welche im beweglichen Leiter in

der Richtung $\delta\gamma\beta\alpha$ langsam anfangend, durch die aus der Bewegung selbst hervorgehenden entgegengesetzten Strömungen und die hieraus folgende Abstoſsung verstärkt, zuletzt mit dem zu überwindenden Widerstande gleich wird. Aus diesem einen Schema folgen die übrigen von selbst, auch wird hieraus noch leichter erklärlich, daſs dieser bewegliche Leiter durch die Einwirkung des rechtwinklichen Multiplicators in eine stete Kreisbewegung versetzt wird, welche ungleich seyend das Maximum ihrer Geschwindigkeit erreicht, wenn der Punct a dem Multiplicator NM am nächsten ist, und das Minimum, wenn er am weitesten davon absteht. Nehmen wir auch hier die Strömungen nördlich von N nach M und von s nach a, setzen den letzteren Punct in den gröſsten Abstand von NM in Westen, so wird die Anziehung den Punct a durch Süden nach Osten führen, wo die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht, dann wird Abstoſsung erfolgen, welche den Punct a durch Norden mit abnehmender Geschwindigkeit nach Westen auf den Anfangspunct der Bewegung zurückführt.

Nach Ampère und Demonferrand[1] wird dieser Apparat durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus gleichfalls in Bewegung gesetzt. Hebt man nämlich die Verbindung des elektrischen Stromes mit dem Multiplicator des Dreifuſses dadurch auf, daſs man die Enden der Metallstreifen H und G aus dem Quecksilber hebt, so daſs also die Strömung von s nach a, dann durch den Ring und das gesäuerte Wasser durch l nach O gelangt, so drehet sich der Apparat von West nach Ost durch Süd; hat derselbe aber die Richtung von a nach s, also vom Umkreise nach dem Mittelpuncte, so ist seine Drehung umgekehrt von Ost nach West durch Süd. Es scheint mir indeſs diese Bewegung nicht durch den tellurischen Magnetismus, sondern entweder durch den Einfluſs des lothrechten Leiters lO auf den kupfernen Ring und den Draht sa, oder, was ungleich wahrscheinlicher und fast gewiſs ist, durch die Wirkung des letzteren und des kupfernen Ringes auf das gesäuerte Wasser erzeugt zu werden. Die unzweideutigsten Versuche nämlich zeigen, daſs das Verhalten eines horizontalen und lothrechten, eines geraden und gebogenen elektrischen Leiters ganz gleich ist. So wie also (nach D. 1 bis 7) alle kreisförmig und recht-

1 Handb. d. dyn. El. S. 85.

winklich gebogenen Drähte, auch beim Ermanschen Rotationsapparate, an welchem die lothrechten Theile gegen die horizontalen verhältnifsmäfsig nur kurz sind, keine rotatorische Bewegung annehmen, sondern sich normal auf den magnetischen Meridian gerichtet einstellen, so mufs dieses auch bei einem einzelnen horizontalen Drahte, ohne den Einflufs der angegebenen Wechselwirkung, statt finden. Dafs aber ein solcher Einflufs wirklich vorhanden sey, ergiebt sich aus dem Verhalten des folgenden Apparates.

c. Der dritte Apparat ist in seinem Verhalten dem zweiten gleich, wenn er dem Einflusse des runden und des geraden Multiplicators ausgesetzt ist. Wird dieser aber aufgehoben, dann ist seine Bewegung stets nur nach einer Seite gerichtet, die Strömung gehe von s nach a oder umgekehrt, weil dieselbe nach Ampère[1] selbst aus dem Einflusse der Strömungen in dem kupfernen Ringe und dem gesäuerten Wasser auf einander entsteht.

8. Dafs ein kreisrunder elektrischer Strom auf einen in seinem Centro befindlichen beweglichen Leiter keinen Einflufs habe, wenigstens ihn nicht in eine fortdauernde Rotation versetze, zeigt Ampère, indem er aus dem beschriebenen Dreifufse das Gefäfs mit dem flüssigen Halbleiter herausnimmt, und einen der beweglichen Drähte in die Gefäfschen x′, y′ aufhängt, welche sich dann gerade über dem Centro des Dreifufses befinden. Ist dieses Letztere genau der Fall, so wird der elektrische Strom, welcher den kreisförmigen Multiplicator durchläuft, auf den aufgehangenen beweglichen Draht keinen Einflufs äufsern, welcher denselben in ein stetes Umkreisen versetzen könnte.

9. Ein interessanter, für verschiedene Zwecke anwendbarer, Apparat Ampères besteht aus zwei künstlichen Magneten
Fig. 120. von schraubenförmig gewundenem Drahte. Der eine, ein Cylinder aus übersponnenem und schraubenförmig gewundenem Drahte, dessen beide herabhängende Enden mit ihren Spitzen in das Quecksilber der Vertiefungen G, H getaucht, und hierin durch den Pflock b festgehalten werden, kommt hierdurch in den Kreis der elektrischen Strömung, und wird mit der Hand in den verschiedensten Lagen und Richtungen dem anderen genä-
Fig. 121. hert. Dieser andere, auf gleiche Weise verfertigt, wird mit

1 Ann. C. P. XXVI. 411.

seinen Drahtenden in die Quecksilberschälchen x, y gehangen, und ist sonach als ein beweglicher Magnet anzusehen, welcher für sich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgt, oder durch den andern ihm genäherten, eben wie durch einen gewöhnlichen Magnet, polarisch angezogen oder abgestoſsen wird.

10. Mit diesem Apparate läſst sich dann auch zeigen, daſs ein solcher elektromagnetischer Magnet sich zum elektrischen Verbindungsdrahte wieder als eine gemeine Magnetnadel verhält. Bringt man zu diesem Ende den rectangulären Multiplicator unter den freischwebenden, aus Draht geflochtenen, und stellt den allgemeinen Apparat so, daſs die Ebene des geraden Multiplicators und die Axe des beweglichen Leiters sich im magnetischen Meridian befinden, so wird letzterer sich über ersterem gerade wie eine gemeine Magnetnadel verhalten. Diesen interessanten Versuch kann man noch besser auf folgende Weise anstellen. Man umwickelt eine dünngeschabte Federspule mit übersponnenem feinen Drahte, in nahen Windungen, überzieht den entstandenen Cylinder mit Bernsteinfirniſs, führt den Draht durch die Federspule rückwärts, umwickelt abermals in der nämlichen Richtung, und fährt hiermit so lange fort, als man für schicklich erachtet, führt die Drahtenden wieder nach der Mitte in gerader Linie zusammen, bindet sie mit einem Seidenfaden so fest, daſs die Endspitzen herabhängen, löthet an diese eine Platte Zink und Kupfer, stützt den umwundenen Federkiel auf einen Metalldraht, welcher nach einer Seite in einen Halbkreis von einigen Linien Durchmesser ausgebogen ist, und macht den ganzen Apparat auf einem cylinderförmigen Stücke Kork auf einer geeigneten Flüssigkeit so schwimmen, daſs die beiden Metallplatten in dieselbe eingetaucht sind. Sollen die Versuche vollständig gelingen, so müssen die Metallplatten in dem etwas ausgehöhlten und gehörig geformten Korkstücke so hoch gesteckt werden, daſs die Enden der umwundenen Federspule sich durch die Einwirkung des galvanischen Verbindungsdrahtes auf- und abwärts bewegen. Durch etwas Fett wird dann das Anhängen des Korkes an die Glaswände des Gefäſses aufgehoben, und es kann ein gewöhnlicher Verbindungsdraht der Elektromotoren sowohl über, als auch vermittelst der halbkreisförmigen gebogenen Stütze des umwundenen Federkieles unter diesem, und an beiden Seiten parallel mit demselben gehalten werden, um alle Bewegungen einer wirklichen Nadel zu erhal-

ten. Ein solcher Apparat ist eine Verbindung der von de la Rive und Raschig angegebenen, welche oben schon erwähnt sind[1].

Es ist nicht überflüssig, hier eine Vorsichtsmaſsregel Ampère's mitzutheilen, welche bei allen den genannten Apparaten der sehr feinen Spitzen wegen sorgfältig beobachtet werden muſs. Beim Einhängen der beweglichen Leiter in die Quecksilberschälchen muſs man nämlich die Schlieſsung des galvanischen Kreises vorher durch die horizontale Stellung der Brücken K und k aufheben, damit nicht im Augenblicke der Berührung die feinen Spitzen der beweglichen Apparate verbrennen.

F. Wirkung eines galvanischen Leiters auf indifferente Drähte.

Ampère hat bei seinem rastlosen Verfolgen aller elektromagnetischen Erscheinungen seine Versuche auch darauf ausgedehnt, um zu finden, ob ein mit einem elektrischen Leiter parallel laufender Kupferdraht im Wirkungskreise von jenem elektrisch, und hierdurch dann magnetisch würde. Zu diesem Ende hing er einen kreisförmig gebogenen Kupferdraht an einem ungezwirnten Seidenfaden mit lothrechter Ebene so auf, daſs derselbe von einem gleichfalls lothrecht gehaltenen Multiplicator umgeben war, und näherte ihm dann einen Magnet. Anfangs konnte er keinen Einfluſs beider auf einander wahrnehmen, und hielt daher die Einwirkung eines galvanischen Leiters auf einen mit ihm parallelen, nicht im Kreise der Elektricität befindlichen

1 Ueber solche künstliche Magnete vergl. Faraday bei G. LXXI. 164. Die Bemühungen dieses eifrigen Physikers, das Umkreisen elektromagnetischer Apparate durch tellurischen Magnetismus zu bewirken s. ebend. LXXII. 118. Ein erst vor Kurzem von Ampère angegebener Apparat, welcher die gegenseitige Anziehung elektromagnetischer Leiter zeigt, ist weitläuftig zu beschreiben, und scheint mir daher nicht wichtig genug, um hier eine Aufnahme zu finden. S. Ann. Ch. Ph. XXIX. 217. Einen interessanten Apparat hat ferner Barlow construirt, eine Art von *Terrelle*, indem er eine Kugel nach der Richtung der magnetischen Meridiane und Parallele mit Draht überzog, und diese in den Strom der Volta'schen Elektricität brachte, wodurch dann eine darüber schwebende Magnetnadel sich ähnlich wie über der wirklichen Erde verhielt. S. Edinb. J. of Science N. 1. S. 139. Die Sache ist sinnreich, bleibt aber immer nur eine angenehme Spielerei.

Metalldraht für unmöglich. Als er aber einen stärkeren Elektromotor und einen kräftigern Magnet anwandte, zeigte sich's, dafs *ein elektrischer Strom in leitenden Körpern, neben denen er vorbeigeht, den nämlichen Magnetismus hervorruft, welcher in ihm selbst erzeugt ist*[1].

Es ist sehr wahrscheinlich, dafs bei diesem Versuche eine Täuschung statt gefunden hat. Ich selbst habe die Erscheinung bei der Anwendung des oben (II. A. 6.) beschriebenen starken Apparates nicht wahrnehmen können, und sie ist auch sonst von niemanden beobachtet, steht aufserdem durchaus im Widerspruche mit allen bisher bekannten Thatsachen, und man mufs sich daher wundern, dafs Ampère das eigentliche Wesen, hauptsächlich aber vorläufig die Gewifsheit derselben nicht weiter geprüft hat, welches blofs daraus erklärt werden kann, dafs dieser emsige Forscher den elektrischen Strom, als solchen, als das eigentliche wirkende Agens anzusehen pflegt. Die Elektricität eines Leiters aber, welcher zwei Volta'sche Elektromotoren verbindet, kann auf einen frei schwebenden, mit ihm parallelen Draht keinen *elektrischen* Einflufs haben, da er das feinste Blattgoldelektrometer nicht afficirt. Dafs aber der in ihm erregte *Magnetismus* in einem Kupferdrahte Magnetismus hervorrufen sollte, ist den ausgebreitetsten und zahlreichsten bisherigen Beobachtungen entgegen. Darf man indefs die Beobachtung als richtig ansehen, so ist es möglich, dafs der von Ampère gebrauchte Kupferdraht ähnliche Erscheinungen gezeigt hat, als von mir bei der Prüfung dieser Angabe an einem etwas eisenhaltigen Messingdrahte beobachtet sind[2]. Dabei ist es sehr auffallend, dafs Ampère anfangs etwas für unmöglich erklärte, was in einem nachfolgenden Versuche als wirklich zum Vorschein gekommen seyn soll, und auf allen Fall eine weitere Prüfung an verschiedenen Drähten erfordert hätte. Jene von mir aufgefundene Erscheinung ist indefs, mindestens höchst wahrscheinlich, durchaus nicht elektromagnetisch, gehört also nicht hierher, sondern in das Gebiet des *Magnetismus*.

Becquerel[3] will ferner gefunden haben, dafs ein elektrischer Strom aus einer starken Batterie, nach Wollaston's Art,

---

1 Demonferrand a. a. O. S. 184.

2 Poggendorf Ann. d. Ph. VI. 361.

3 Ann. Ch. Ph. XXV. 269.

durch einen Schweiggerschen Multiplicator geleitet, kleinen Nadeln von den verschiedensten Substanzen eine bestimmte Richtung ertheile, daſs aber ein genäherter Magnet auf dieselben in dieser Richtung anscheinend nicht wirke. Diese Thatsache, welche in der gegebenen Darstellung weder zu den bisher bekannten elektromagnetischen, noch auch den magnetischen Erscheinungen paſst, verdient vor der Beurtheilung erst genauer begründet zu werden.

IV. Theorieen des Elektromagnetismus.

In den frühern Abschnitten sind die sämmtlichen elektromagnetischen Erscheinungen, ohne Auslassung irgend einer mir bekannt gewordenen und für die Erklärung bedeutenden, mitgetheilt. Soll auf diese eine Theorie gegründet werden, so kann dieselbe auf eine dreifache Weise gebildet seyn, entweder indem man die gesammten Erscheinungen auf ein gemeinsames, aus ihnen selbst entnommenes, Gesetz zurückführt, oder wenn man hiermit nicht zufrieden, dieses Gesetz selbst wieder auf andere Naturgesetze gründet, wonach ähnliche und verwandte Phänomene erfolgen, so daſs also das neu aufgefundene Gesetz mit schon bekannten zusammenfällt, oder endlich wenn man das eigentliche Wesen der wirksamen Potenz und der ihr eigenthümlich zukommenden Kräfte nebst ihrem gegenseitigen Verhältnisse zu ergründen sucht. In Beziehung auf diese letztere Aufgabe müssen wir uns bescheiden, daſs wir bis jetzt weder irgend einen materiellen Stoff noch eine Kraft an sich und ihrem eigentlichen Wesen nach kennen, wenn anders dieses Wesen nicht in den uns bekannten Eigenschaften und Wirkungsarten derselben gegeben ist; wir dürfen daher nicht erwarten, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus anders zu erkennen, als in sofern wir das oder die allgemeinen Gesetze seiner Wirksamkeit ergründen. Sollen aber, nach der ersteren Bestimmung, alle Phänomene bloſs auf eine gemeinsame Regel, eine allen zum Grunde liegende Norm zurückgebracht werden, ohne daſs man das eigentliche Wesen derselben zu bestimmen sich vornimmt, so ist dieses durch alle diejenigen geschehen, welche eine Theorie derselben aufzustellen versucht haben, und dieses ist bei der Einfachheit der Sache durchaus nicht schwierig. Obgleich hierbei von den verschiedenen Physikern verschiedene Ausdrücke gewählt sind, so kommen doch alle Darstellungen auf das Nämliche zurück, und der Vorzug der einen

vor der andern kann bloſs in der Leichtigkeit der Uebersicht des Ganzen liegen. So ist Ampère's Ausdruck einer Entstehung des Nordpoles durch eine von Osten kommende elektrische Strömung, mit dem durch Gilbert gewählten einer links gerichteten Abweichung des Nordpols unter dem durchströmten Leitungsdrahte dem Wesen nach identisch, und eben dieses lieſse sich von den übrigen Vorstellungsarten nachweisen. Die von mir gewählte Darstellung der Thatsachen schien mir deswegen die beste, weil sie durchaus keine Theorie einmischt, sondern die Phänomene allein in ihrer ganzen Einfachheit wiedergiebt, und auſserdem von dem Verhalten des magnetischen Poles nicht etwa *über* oder *unter* dem Leitungsdrahte, sondern in seinem ganzen Umfange entlehnt ist. Inzwischen ist hierdurch schlechthin keine Theorie, sondern bloſs eine nackte Darstellung der elektromagnetischen Erscheinungen gegeben, und wenn jene verlangt wird, so müssen bei der Unmöglichkeit, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus zu ergründen, zum mindesten seine Erscheinungen mit andern Naturphänomenen in Zusammenhang gebracht werden, welches dann der oben angegebenen zweiten Forderung an eine Theorie genügen würde. Die hiermit zusammenhängenden Naturerscheinungen aber, welche ihrem eigentlichen Wesen nach zwar unbekannt sind, rücksichtlich der Gesetze ihres Verhaltens aber zu den unlängst bekannten gezählt werden, sind die *elektrischen* und *magnetischen*, welche durch die wichtige Entdeckung des *Elektromagnetismus* in eine innige Verbindung treten, und namentlich steht jetzt der Magnetismus mit seinen früher allein bekannten höchst einfachen Erscheinungen und wenigen Gesetzen nicht mehr fast ganz auſser aller Verbindung mit den übrigen Naturkräften und Phänomenen. Diejenigen Forderungen, welche sonach billigerweise an eine Theorie des Elektromagnetismus gemacht werden können, betreffen hauptsächlich die Beantwortung der Fragen, in welchem Verhältniſs derselbe zu jenen beiden stehe, und ob seine Erscheinungen mehr der Elektricität oder dem Magnetismus angehören oder zwischen beiden in der Mitte liegen, und ein gewisses eigenthümliches, für sich bestehendes Ganzes bilden.

Von der Entdeckung des Elektromagnetismus an bis auf diesen Augenblick sind alle Physiker darüber mit einander einverstanden gewesen, die elektromagnetischen Erscheinungen

seyen schlechthin als magnetische anzusehen, jedoch von einer eigenthümlichen Modification, deren Bestimmung eben die Schwierigkeit der Sache und das Abweichende in den verschiedenen Ansichten und Bestimmungen ausmacht, welche deswegen eine nähere Prüfung verdienen. Rücksichtlich auf das Verhältniſs zur Elektricität sind die Meinungen getheilt und einander entgegengesetzt. Einige Physiker nämlich nehmen an, oder vielmehr es scheint aus ihrer Darstellung die Meinung zu folgen, *Elektricität und Magnetismus seyen einander gleich*, es gehe die eine in den andern über; andere dagegen halten *beide für verschiedene Potenzen*, legen einer jeden derselben ein eigenthümliches Substrat unter, sofern sie sich nicht zu der Ansicht bekennen, daſs eine Kraft ohne ein materielles Substrat für sich allein wirksam seyn könne, und sie müssen sonach annehmen, der Magnetismus werde im elektrischen Leitungsdrahte auf eine gewisse individuelle, hierdurch erst erkannte, Weise hervorgerufen oder freigemacht, welche dann den anderweitigen Erregungen des Magnetismus entweder ähnlich oder von diesen verschieden seyn kann.

Prüfen wir zuerst jene Ansicht, wonach *Elektricität* und *Magnetismus gleich seyn sollen*, so zeigt sich bald, daſs diese bei weitem die dunkelste sey, selbst schon hinsichtlich des bloſsen Ausdrucks einer Identität oder wesentlichen Gleichartigkeit. Daſs diese letztere im strengsten Sinne zwischen zwei so wesentlich verschiedenen Potenzen angenommen werde, deren Gesammterscheinungen bei der Anwendung von nur wenigem Scharfsinne auch durch die kühnste Phantasie nicht vereinigt werden können, läſst sich kaum denken. Ohnehin hat die Geschichte der Naturwissenschaften genügend bewiesen, wie weit man vom eigentlichen Ziele entfernt war, als man alle Stoffe auf wenige Grundstoffe zurückbrachte, in allen Erscheinungen der Imponderabilien aber einen Universaläther oder eine Universalkraft zu finden glaubte. Selbst das Phlogiston, welches mehr durch speculirende Phantasie als durch kritische Prüfung genauer Beobachtungen eingebürgert war, diente nur dazu, die Erscheinungen in ein undurchdringliches Dunkel zu hüllen, und das eigentliche Licht ging der Wissenschaft erst dadurch auf, daſs Lavoisier das durch unterscheidende Merkmale Verschiedene sonderte, und einem jeden eigenthümlichen Stoffe seinen besonderen Platz anwies. Daſs aber Elektricität

und Magnetismus als wesentlich verschiedene Potenzen, und selbst in den elektromagnetischen Erscheinungen durch unterscheidende Merkmale gesondert hervortreten, ist keinen Augenblick zweifelhaft. Um nur einige der wesentlichsten dieser unterscheidenden Kennzeichen namhaft zu machen, so wird die Elektricität im Leitungsdrahte durch die gewöhnlichen Nichtleiter isolirt, während der zugleich hervorgerufene Magnetismus dieselben frei durchdringt, ein Argument, welches Davy[1] allein schon für genügend hält, um die Meinung einer Gleichheit beider für unstatthaft zu erklären. Umgekehrt zeigen auch die stärksten Magnete keine einzige elektrische Wirkung, indem sie weder allgemein leichte Körper anziehen und abstofsen, noch auch durch ihren Magnetismus chemische Veränderungen hervorbringen, ja sie verhalten sich sogar im Kreise der Volta'schen Säule als bloſse metallische Leiter (II. 3. d.) und äuſsern in dem Falle, wenn man ihre Pole auch bei gröſster Kraft derselben mit den Enden eines kräftigen Multiplicators verbindet, auf die empfindlichste Nadel durch dieses unglaubliche Verstärkungsmittel nicht den mindesten Einfluſs. Endlich hat unter andern C. H. Pfaff nachgewiesen (III. A. 13), daſs in einem von einfacher Reibungselektricität durchströmten Drahte eine noch sichtbare Funken zeigende Menge von Elektricität bleibend vorhanden ist, ohne daſs derselbe auch nur die mindesten Spuren einer magnetischen Wirkung auf die empfindlichsten Nadeln hervorzubringen vermag. Man müſste in einem solchen Leiter also freie Elektricität = Magnetismus als vorhandenseyend und doch nicht wirksam annehmen, welches ein Widerspruch ist, oder nachweisen, warum diese Art der Elektricitität kein Magnetismus sey, wodurch aber der aufgestellte Satz wieder aufgehoben wird. Sucht man indeſs den Beweis für ihre Identität hauptsächlich darin, daſs die Elektricität den Magnetismus in dem leitenden Körper hervorruft, so ist es noch fraglich, ob dieses nicht durch einen mechanischen Schlag mit einem hölzernen Hammer während der Dauer desselben in einem geringen Grade gleichfalls geschieht, und da dieser im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, so könnte man hiernach auf gleiche Weise entweder den Hammer selbst oder den Schlag mit demselben für identisch mit Elektricität und Magnetismus ansehen.

---

1 Phil. Tr. 1821. I. S. 7. Vergl. G. LXIX. 77. LXXI. 240.

Wenn nun aber bei so auffallenden Verschiedenheiten in ihren Wirkungen Elektricität und Magnetismus von den scharfsinnigsten Gelehrten für wesentlich identisch angesehen werden, namentlich von dem berühmten Entdecker des Elektromagnetismus, Oersted, und dem um die vollständige Bearbeitung dieses Gegenstandes so verdienten Ampère, denen noch v. Yelin, Prechtl und andere zugezählt werden können, so dringt sich nothwendig die Frage auf, wie diese von ihnen behauptete Identität zu verstehen und mit den augenfälligst widersprechenden Erscheinungen zu vereinigen sey. Indeſs ist eine genügende Antwort hierauf wegen der Dunkelheiten in den gewählten Ausdrücken nichts weniger als leicht. Im Allgemeinen läſst sich inzwischen so viel als gewiſs erkennen, daſs bei der behaupteten Gleichheit von dieser nicht in so fern die Rede sey, als ob beiden in den individuellen Arten ihrer Wirksamkeit ganz gleiche Thätigkeitsäuſserungen zugeschrieben würden, welches auch in der That unmöglich wäre, sondern es soll nur beiden ein und dasselbe Princip zum Grunde liegen. Leider aber kennen wir im ganzen Gebiete der Natur weder irgend einen wägbaren Stoff, noch auch eine einzige sogenannte unwägbare Potenz ihrem eigentlichen Wesen nach in ihrem ganzen Umfange, viel weniger aber irgend eine der wirksamen Kräfte, und man kann also schon im Voraus wissen, was von einer solchen Bestimmung über die Grundkräfte zu halten sey, welche noch dazu auf eine in den Erscheinungen selbst die auffallendsten Widersprüche findende Gleichheit derselben führt. Ein weit sicherer Weg der Forschung war vielmehr der, von den Phänomenen auf die nächste Ursache derselben zu schlieſsen, und auf diese Weise müssen Elektricität und Magnetismus für verschiedene Potenzen gehalten werden.

Die Vorstellungen derjenigen, welche sich zu der genannten Identität bekennen, sind übrigens nicht gleich. Nach Oersted, von Yelin u. a. sind die Aeuſserungen beider zwar verschieden, allein sie zeigen so viel Uebereinstimmendes, und sind in ihrer ursprünglichen Entwickelung so innig mit einander verbunden, daſs sie sich auf eine und dieselbe Grundkraft zurückbringen lassen, welche sich in ihnen nur verschieden modificirt zeigt. Dieser Vorstellung kann man nicht anders beitreten, als wenn man dem ganzen, hierbei zum Grunde liegenden Systeme huldigt, wonach alles Materielle zuletzt auf eine

oder wenige Grundkräfte zurückgebracht wird, eine Theorie, welche die Wissenschaft nicht gefördert hat und nicht fördern kann[1]. Die Ansichten Ampère's und seiner Anhänger sind hiervon verschieden. Ohne die ganze Natur auf entgegengesetzte Urkräfte zurückzuführen, welches mindestens aus seiner Darstellung des Elektromagnetismus nicht folgt, drückt er bloſs das Verhalten des Leiters der Elektricität rücksichtlich auf den in ihm hervorgerufenen Magnetismus aus, und behauptet dabei nicht, letzterer werde durch die erstere hervorgerufen, noch auch werde jene in diesen ganz eigentlich umgewandelt, vielmehr liefere die Elektricität oder die elektrische Strömung den Magnetismus unmittelbar, sie sey selbst Magnetismus. Hiernach soll auch der tellurische Magnetismus aus denjenigen elektrischen Strömungen bestehen, welche durch die Sonne aufgeregt stets von Osten nach Westen die Erde umkreisen. Ampère hat sich offenbar durch seinen Eifer, die höchst interessante neue Entdeckung vollständig zu erklären, verleiten lassen zu übersehen, daſs in seiner Darstellung der Sache derjenige Fehler obwaltet, welchen man einen Kreis im Beweise nennt. Weil nämlich der elektrische Strom den Leiter magnetisch polarisch macht, so schlieſst er, auch der gemeine Magnet müsse durch solche Strömungen polarisch seyn, und weil der Magnet Pole zeigt, so müssen solche elektrische Strömungen existiren, welche als solche, wiederum dem Stahle die ihm eigenthümlichen Pole geben. Wollte Ampère bloſs aus Erfahrungen unmittelbar seine Theorie ableiten, so wäre es besser gewesen, diese vorausgesetzten Strömungen künstlich nachzubilden. Ein frei schwebender Stahlstab einem auf seine Axe normal gerichteten, über seine ganze Länge ausgedehnten elektrischen Strome aus Spitzen ausgesetzt, wird nicht magnetisch, und doch müssen diese Strömungen stärker seyn als die tellurischen, weil man jene wahrnimmt, diese aber auch nicht mit den feinsten Instrumenten. Man könnte hiergegen einwenden, daſs zwischen solchen elektrischen Strömungen und denen über den ganzen Erdball stattfindenden, welche diesem den tellurischen Magnetismus ertheilen sollen, ein groſser Unterschied statt finde. Allein hierauf ist zu erwiedern, daſs wir die Wechsel und Schwankungen der atmosphärischen Elektricität, welche doch ohne Zweifel mit der

1 Vergl. *Materie.*

tellurischen in engster Wechselwirkung stehen, sehr genau kennen, dafs diese indefs weder von einer polarischen noch aequatorischen Strömung irgend eine Spur zeigen, und wollte man also eine solche, auf keine directe Beobachtung, sondern blofs auf eine erst zu beweisende Wirkung gegründete, Ursache des tellurischen Magnetismus dennoch einer Theorie als erwiesene Thatsache zum Grunde legen, so gliche dieses den bekannten Erklärungen älterer Physiker aus dem Elementarfeuer, welchem alle Eigenschaften des gewöhnlichen Feuers beigelegt wurden, mit Ausnahme des Erwärmens und Brennens, wodurch wir indefs allein den Begriff des Feuers erhalten haben [1].

Prechtl's Vorstellung von der Identität der Elektricität und des Magnetismus liegt zwischen den beiden eben erwähnten etwa in der Mitte, kann aber hier nur in ihren allgemeinsten Principien kurz angedeutet werden. Schon vor der Entdeckung des Elektromagnetismus glaubte Prechtl die wichtigsten Naturerscheinungen auf einen attractiven und einen chemischen Effect der Elektricität zurückbringen zu können, welche sich in ihrer Allgemeinheit als Magnetismus und Chemismus zeigen sollen. Für diese Ansicht schien ihm eine unerwartete Bestätigung durch Oersted's Entdeckung gegeben zu seyn. Die Volta'sche Säule nämlich soll eben diese zwei Effecte zeigen, den attractiven als grofsplattige und den chemischen als vielelementige, und beide Kräfte sollen sich einander aufheben. — So wie aber jener erste Satz als blofses Spiel der Phantasie erscheinen mufs, so stimmt dieser letztere mit dem bekannten Verhalten der Säule selbst nicht überein, welche als blofser Erreger der Elektricität diese rücksichtlich des Quantitativen den Metallflächen, rücksichtlich des Intensiven den Mengen der Elemente proportional hervorruft, ohne ein gegenseitiges Aufheben dieser beiden Thätigkeiten. Dafs aber die Elektricität unter verschiedenen Bedingungen der Leitung und Strömung verschiedenartige Effecte zeigen könne, darf nicht mehr auffallen, seitdem man unter andern weifs, dafs ein und dieselbe und auf gleiche Weise geladene Flasche das Schiefspulver durch einen nassen Bindfaden entzündet, durch einen Metalldraht aber blofs umherstreuet. — Der elektrische Leitungsdraht ist dann fer-

1 Ein Hauptargument gegen diese Vorstellung Ampère's. S. unten IV. F. 2.

ner nach Prechtl ein eigentlicher Magnet, und als eine trockne Säule zu betrachten, in welcher die nämliche Elektricitäts-Vertheilung vorhanden ist, wie in der isolirten Säule. „Eine wahre trockne Säule ist daher eine wahre magnetische Säule: sie wird nicht nur den Magneten afficiren, sondern sie wird auch bei hinlänglicher Intensität (durch die Anzahl der Schichten bewirkt) die tellurische Polarität zeigen[1]." — Hemmte nicht nach vielfachen Erfahrungen der Eifer, eine allgemeine Construction der Naturgesetze durch Speculation aufzufinden, die freie Urtheilskraft selbst großer Gelehrten, so wäre unbegreiflich, wie ein so erfahrner und scharfsichtiger Naturforscher, als Prechtl ohne Widerrede ist, in diesen letzten Sätzen gerade das Gegentheil von demjenigen aufstellen konnte, was die Beobachtung und eine hierauf gegründete Theorie ergiebt und ergeben muſs. Die Elektricität nämlich sowohl allgemein als auch hauptsächlich die der Volta'schen Säule äuſsert die magnetischen Wirkungen so viel leichter und mit so viel gröſserer Stärke, je freier und ungehinderter sie strömt, weswegen zwei elektromotorische Elemente, durch die bestleitende Flüssigkeit getrennt, dem Verbindungsdrahte den stärksten Magnetismus ertheilen. Hiermit nicht wohl verträglich ist Prechtl's Hypothese, daſs in einer solchen zweiplattigen Säule die stärkste Repulsion, in einer mehrplattigen der stärkste Chemismus gegeben sey, indem bekanntlich Singer's Riesenapparat und Hare's Deflagrator am feinsten Elektrometer kaum eine Spur der Repulsion oder Attraction zeigen. Da aber jede unvollkommene Leitung, noch mehr aber jeder trockne Zwischenkörper, durch Erschwerung der freien elektrischen Strömung die Erzeugung des Magnetismus schwächt oder gänzlich aufhebt, so ist gar nicht abzusehen, wie eine trockne Säule vorzugsweise ein Magnet werden sollte, welche vielmehr den Versuchen zu Folge gar keine elektromagnetische Wirkungen zeigt. (II. i. A.) Ungleich richtiger, vollkommen naturgemäſs und klar ist es dagegen, wenn Seebeck[2] aus seinen Versuchen gerade den entgegengesetzten Schluſs folgert. Indem nämlich die elektromagnetische Wirksamkeit mit der Vermehrung der Plattenpaare abnahm, wobei aber bekanntlich die elektrische Spannung wächst,

---

1 G. LXVII. 82 bis 84.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 308 u. 9.

eine trockne Säule von 800 Lagen dagegen nicht die mindeste Wirkung auf die Magnetnadel äufserte, ein Goldblattelektrometer aber zum Anschlagen brachte, so ist eine wesentliche Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus keinen Augenblick zu bezweifeln.

Späterhin hat sich indefs Prechtl selbst gegen eine Identität der Elektricität und des Magnetismus erklärt, da die Wirkungsarten beider verschieden sind. Allein diese Verschiedenheit beider bezieht sich dennoch zunächst nur auf die Erscheinungen, welche sie darbieten, indem übrigens beide auf einer einzigen Grundursache beruhen sollen[1], welches also auf Oersted's Ansicht zurückkommt.

Aus dieser Darstellung geht wohl unverkennbar hervor, dafs wir noch weit entfernt sind, die Naturphänomene aus ihren höchsten und einfachsten Grundgesetzen ableiten oder auf diese zurückführen zu können. Wäre dieses überhaupt möglich, so konnte es schon früher geschehen, und bedurfte es hierzu nicht erst der Entdeckung des Elektromagnetismus, welcher eben seiner Neuheit wegen noch obendrein am wenigsten geeignet war, diesen kühnen Versuch daran zu wagen. Von einer Theorie des Elektromagnetismus kann also nichts weiter gefordert werden, als dafs sie *die gesammten Erscheinungen desselben unter ein oder einige allgemeine und mit sich selbst übereinstimmende Hauptgesetze bringe, und wo möglich zugleich zeige, in wie fern diese mit den bekannten Gesetzen der Elektricität und des Magnetismus übereinstimmen.* Diese höchst schwierige Aufgabe ist zwar von verschiedenen Gelehrten versucht, ohne dafs es jedoch bis jetzt nach meiner Ansicht noch irgend einem gelungen ist, sie völlig befriedigend zu lösen, welches vielleicht hierbei eben wie bei so manchen andern Gegenständen der Naturforschung dem menschlichen Geiste für immer unmöglich bleibt. Es ist indefs erforderlich, die verschiedenen Theorieen einzeln zu prüfen, damit sie künftigen Versuchen dieser Art zur Grundlage dienen können. Hierbei bleibt es unberücksichtigt, welche Vorstellungen über das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus zum Grunde liegen, wenn nur die Theorie die *Erscheinungen selbst* genügend ausdrückt und erklärt.

---

1 Kastner's Archiv. II. 164.

A. Oersted's Theorie.

Diese muſs als die zuerst aufgestellte und noch mehr wegen des berühmten Erfinders des Elektromagnetismus billig voranstehen, kann aber wegen ihrer Einfachheit dem Wesen nach mit wenigen Worten dargestellt werden. Schon in der ersten Schrift, wodurch die neue Entdeckung bekannt wurde[1], stellte Oersted die Hypothese auf, daſs die Elektricität auf die magnetischen Theilchen der Körper wirke, welche einen Widerstand dagegen ausübten, und dadurch in Bewegung gesetzt würden. Die Bewegung der Elektricität in den Leitern konnte nicht anders als fortschreitend angenommen werden, und da die Bewegung des magnetischen Poles um den Leitungsdraht kreisförmig erschien, so konnten beide nicht anders als in einer schraubenförmigen Umkreisung vereinigt werden, weswegen Oersted der Elektricität oder vielmehr dem hierdurch erzeugten Magnetismus eine solche zuschrieb. Bei der Annahme von zwei Elektricitäten sollte dann die + E. in ihrer Wirbelbewegung den Südpol des Magnetes zurückstoſsen, die — E. aber in entgegengesetzter Richtung wirbelnd den Nordpol, beide aber auf die entgegengesetzten Magnetismen gar keinen Einfluſs ausüben. Nach späteren ausführlicheren Erklärungen Oersted's[2] ist ein Hauptsatz seiner Theorie, daſs in dem mit Widerstand verknüpften Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten diese eine eigenthümliche Wirkungsform annehmen, nach welcher die positiv elektrische Kraft den magnetischen Südpol abstöſst, den Nordpol anzieht; die negative dagegen den Nordpol abstöſst und den Südpol anzieht; die Bewegung beider Elektricitäten geschieht aber in einer Schraubenlinie. Oersted erläutert seine Ideen durch eine graphische Darstellung. Es bezeichnet nämlich AB eine solche in eine gerade Linie ausgespannte spiralförmige Windung, deren Magnetismen von B mit + anfangend nach A hin in — übergehen, indem jenes die Zuströmung der positiven, dieses dagegen der negativen Elektricität bezeichnet. In der Richtung von + aus wird dann der Süd- Fig. 122.

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. Für die Theorie der Wirbel hat sich auſserdem hauptsächlich Wollaston erklärt. S. G. LXVIII. 32.

2 Schweigg. J. XXXII. 199. XXXIII. 123.

pol der Magnetnadel, von — aus aber der Nordpol abgestofsen. Biegt man einen so geformten Stab in einen Kreis, so stellt derselbe einen Querschnitt des elektrischen Leitungsdrahtes vor. Ob dann die gesammten Lagen dieser magnetischen Polaritäten schraubenförmige Windungen oder Kreise bilden, läfst Oersted zwar in gewisser Hinsicht zweifelhaft, ist aber geneigter die erstere Meinung anzunehmen. Hält man nämlich nach der bisher üblichen Ansicht die Bewegung der Elektricität in dem Leiter für eine fortschreitende, so mufs aus dieser und der Umkreisung um denselben nothwendig die schraubenförmige entstehen, wobei dann die Gründe entwickelt werden, nach denen man die einzelnen Windungen für einander ausnehmend nahe liegend anzunehmen hat; besteht aber der Fortgang der Elektricität aus Pulsationen, wie in der Schall- und Lichtbewegung, so würde man Kreise anzunehmen haben. Dafs die letztere Vorstellungsart unzulässig sey, verdient kaum bemerkt zu werden; denn abgesehen davon, dafs auch in der Schall- und Lichtbewegung allerdings ein Fortschreiten und nicht blofs eine kreisförmige Wellenschwingung statt findet, so kann man ja eine Entladung, mithin eine eigentliche Ausströmung und Fortführung der Elektricität aus solchen Körpern, worin sie angehäuft ist, nachweisen, wobei das ausnehmend schnelle Durchlaufen der positiven und negativen Elektricität von einem Ende des längsten Leitungsdrahtes zum andern schon daraus unwidersprechlich hervorgeht, dafs sie am entfernten Ende nicht eher wirksam seyn kann, als bis sie dort angekommen ist. Man würde sich aber in einen Widerstreit mit den ausgemachtesten elektrischen Erscheinungen verwickeln, wenn man annehmen wollte, dafs die Elektricität nicht wirklich in den Leiter eindränge, sondern demselben nur gewisse Pulsus zur Fortpflanzung mittheile. Bei dem aufserordentlich schnellen Fortgange der Elektricität in den vollkommenen Leitern mufs man geneigt seyn, die sie nach Oersted umgebenden Schraubenlinien für merklich gestreckt zu halten. Weil dieses aber zu den Erscheinungen nicht pafst, so sollen sie vielmehr den Kreisen unendlich nahe kommen, indem er die fortschreitende Bewegung für verschwindend klein gegen die umkreisende ansieht, was sich freilich durch Beobachtung weder prüfen noch widerlegen läfst, bei der schnellen Fortleitung der Elektricität aber mindestens unvorstellbar wird.

Nimmt man einmal diese Wirbeltheorie an, so folgt das elektromagnetische Hauptphänomen aus derselben sehr leicht. Ist nämlich A der Querschnitt eines verticalen elektrischen Leiters, sind B und C zwei Magnetnadeln, so werden ihre Pole beide nach der nämlichen Seite, und zwar wie es die Zeichnung ausdrückt, östlich abweichen, a durch die von Westen kommende negative, b durch die in eben dieser Richtung wirbelnde positive Elektricität. Indem aber alle elektromagnetische Erscheinungen oben auf diesen einen Hauptversuch zurückgeführt sind, so würde es überflüssig seyn, noch weiter zu zeigen, wie Oersted namentlich die durch Ampère gemachte und so hoch angeschlagene Entdeckung, dafs zwei parallele elektrische Leiter bei gleichlaufender Strömung sich anziehen, bei ungleichlaufender aber abstofsen, ohne Schwierigkeit zu erklären vermag, und daher die von jenem aufgestellte Theorie nur als eine weitere Ausbildung der seinigen anzusehen geneigt ist. Fig. 123.

Gegen diese Theorie sind verschiedene Einwendungen gemacht, und man kann bei ihrer genauen Prüfung nicht umhin zu gestehen, dafs sie mit einiger Willkühr erfunden ist, und weder alle Erscheinungen erklärt noch auch damit überhaupt in Einklang zu bringen ist, so gern sonst jeder gerade dieser am liebsten beipflichten würde, theils aus Achtung gegen ihren Erfinder, theils wegen der Einfachheit, womit sie aus dem zuerst aufgefundenen Hauptphänomene abgeleitet ist. Folgende sind die hauptsächlichsten Gründe, welche derselben im Wege stehen.

1. *Die Annahme einer Wirbelbewegung der Elektricität oder des Magnetismus ist an sich willkührlich und durch keine Thatsache hinlänglich begründet, steht vielmehr mit einigen im Widerspruche.* Der Elektricität, als solcher, können zuvörderst keine solche Wirbel zugeschrieben werden, denn was man bei Wasserhosen und Landtromben wahrnimmt, ist secundäre Wirkung der elektrischen Anziehung, und daraus zu erklären, dafs freischwebende Massen durch ungleichen Druck, excentrischen Stofs, partielle Anziehung u. dgl. eine solche Bewegung nach mechanischen Gesetzen sehr leicht annehmen, wie namentlich durch die Rotationen der Luftballons und der grofsen Massen des Polareises genugsam erwiesen ist. Die Elektricität wirkt nach zahllosen und unzweideutigen Erscheinungen nur in gerader Linie anziehend und abstofsend, und jeder leichte Körper wird durchaus nur in dieser Richtung einem elek-

trischen Leiter genähert oder von ihm zurückgestoſsen. Die Wirbelbewegung kann daher dem erregten Magnetismus keineswegs durch die Elektricität mitgetheilt werden, sondern sie müſste in ihm selbst zu suchen seyn, zu welcher Annahme aber wieder kein Grund in dem Verhalten desselben bei gemeinen Magneten zu suchen ist, indem diese vielmehr sich wechselseitig gleichfalls in geradliniger Richtung anziehen und abstoſsen. Ueberlegt man aber weiter, daſs die elektromagnetischen Wirkungen eines in die vollkommensten Isolatoren eingeschlossenen Verbindungsdrahtes durchaus unverändert bleiben, so würde hieraus folgen, daſs die magnetischen Wirbel erst *auſserhalb* der isolirenden Zwischenmittel anfangen müſsten, wonach das Willkührliche einer solchen Hypothese noch mehr in die Augen fällt[1].

2. *Die Theorie ist in sich nicht consequent und kaum vorstellbar.* Da die Elektricität die angenommene rotirende Bewegung erweislich nicht hat, so müſste man es als eine individuelle Wirkung derselben ansehen, daſs sie dem Magnetismus diese Umkreisung mittheilte, und hiergegen wäre nichts einzuwenden, wenn man eine solche als durch das Verhalten der Magnetnadel factisch erwiesen ansehen wollte. Ist aber der Leiter in einen vollkommenen elektrischen Isolator eingeschlossen, durch welchen die Elektricität nicht dringt, so ist nicht abzusehen, wie dann, auſserhalb des isolirt abgeschlossenen elektrischen Leiters, noch beide Magnetismen in entgegengesetzter Richtung umkreisen, und stets von einander getrennt die ihnen eigenthümliche Anziehung und Abstoſsung gegen jeden genäherten Pol, nur *nicht gegen sich selbst* ausüben sollten, indem sie im letzteren Falle sich zur Indifferenz neutralisiren müſsten. Hier tritt also der Fall ein, daſs man ihnen eine bekannte wesentliche Wirksamkeit zugleich beilegen und auch absprechen müſste. Unfaſsbar wird aber die Vorstellung solcher Wirbel, wenn man die Geschwindigkeit berücksichtigt, welche die äuſsersten Theile derselben erhalten müſsten. Nach Boeckmann (III. B. 15.) wirkt ein elektrischer Funken aus einer Flasche von mittlerer Gröſse bis auf 4 F. Entfernung noch so stark auf eine Stahlnadel, daſs diese Spuren des erregten Magnetismus zeigt, und nach Seebeck (III. A. 9.) übt der Verbindungsdraht unge-

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 216.

wöhnlich starker Elektromotoren bis auf 10 F. noch ablenkende Kraft auf eine Nadel aus. Hiernach müſsten die Wirbel einen Cylinder um den Leitungsdraht bilden, dessen Durchmesser 20 F. betrüge, und wenn dann die bekanntlich groſse Geschwindigkeit der durchströmenden Elektricität verschwindend klein gegen die der Wirbel wäre, wie OERSTED deswegen annimmt, damit die schraubenförmigen Bahnen nahe kreisförmig werden, so müſsten die äuſsersten magnetischen Theilchen eine Geschwindigkeit erhalten, welche die des Lichtes um ein Vielfaches übertreffen würde. Strömte aber die Elektricität gar durch Spiralen oder Multiplicatoren, so ist nicht abzusehen, wie diese dicken Wirbelcylinder neben einander ohne gegenseitige Störung bestehen könnten.

Ferner aber zeigt sich in dieser Theorie eine Inconsequenz, welche aus der Annahme einer Identität der Elektricität und des Magnetismus nothwendig entstehen muſste, indem das Bestreben diese zu demonstriren mit dem unbezwinglichen Gefühle ihrer reellen Verschiedenheit in Widerspruch kommt. OERSTED gesteht nämlich die Bewegung der Elektricität als solcher im Leitungsdrahte als eine wirkliche Strömung oder als wellenartige Pulsus zu, und in soweit ist sie Elektricität und kein Magnetismus. Zugleich aber erzeugt sie magnetische Wirbel, welche den Leiter umkreisen, aber keine elektrische Wirkungen äuſsern, mithin zum Magnetismus und nicht zur Elektricität gehören. Ist nun die Rede insbesondere von einem in eine isolirende Hülle eingeschlossenen Leiter, so bleibt um so auffallender die Frage unbeantwortet, woher der auſserhalb der Isolirung wirksame Magnetismus komme. Die im Leiter befindliche, der Isolirung unterworfene, Elektricität kann es nicht seyn, da diese sich fortschreitend bewegt und durch ihre zerlegende Kraft auf Alkalien und Säuren, desgleichen durch die Erhitzung der Metalle ihre Natur und Wirksamkeit beurkundet, ohne die magnetischen Wirkungen dadurch aufzuheben, auch kann diese nicht durch die Isolirung dringen, und eine Hauptfrage über den Ursprung des Magnetismus in den Wirbeln bleibt sonach ganz unerörtert.

3. *Endlich erklärt diese Theorie nicht alle Phänomene und steht vielmehr mit einigen im Widerspruche*, so einfach auch die anfängliche Haupterscheinung in derselben dargestellt ist. Jede Bewegung zuvörderst, welche einem magnetischen

Körper durch die umkreisenden Wirbel gegeben werden kann, liegt in gleichem Abstande von der geometrischen Axe des Leitungsdrahtes, und kann sich dieser unmöglich nähern, weit eher von derselben vermöge der Schwungkraft entfernen, mithin ist das Anhängen des Eisenfeilichts an den Verbindungsdraht der Elektromotoren hiermit im Widerspruche. Auch die oben (III. A. 8.) angegebene völlige Umkehrung der Nadel ist aus dieser Theorie nicht erklärlich, sobald man die Wirbel als fast kreisförmig betrachtet, und wollte man zu der schraubenförmigen Bewegung seine Zuflucht nehmen, so müfste es einen vom rechten Winkel wenig abweichenden geben, bei welchem die Tangente an die Richtung des Wirbels mit der Axe der Nadel zusammenfiele, und daher jede Bewegung der letzteren unmöglich würde, was der Erfahrung widerstreitet[1]. Endlich bemerkt Schweigger[2], dafs die Wirbel verschiedener neben einander liegender Leiter einander stören müfsten, indem die zwischen je zwei Drähte fallenden bei gleicher Richtung der elektrischen Strömungen einander begegnen. Oersted könnte dieses Argument allerdings für sich benutzen, indem der magnetische Pol genau in der Mitte zwischen zwei Leitern indifferent wird (III. E. i. A.), allein dann ist unbegreiflich, warum eine spiralförmige Scheibe an der einen Seite blofs nordpolarisch und an der andern südpolarisch wirkt (III. A. 11.), da doch beide Magnetismen jedes Theil des Leitungsdrahtes mit gleicher Stärke umkreisen sollen.

Man sieht bald, dafs Oersted seine Theorie zu frühe aufgestellt habe, ehe noch alle Thatsachen genügend bekannt waren, weswegen sie denn gerade mit den später aufgefundenen unvereinbar ist.

B. Faraday's Princip der kreisförmigen Bewegung.

Faraday[3] hat keine vollständige Theorie des Elektromagnetismus aufgestellt, allein bei seinen vielen, für die Erweiterung dieses Theiles der Naturlehre höchst wichtigen Ver-

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 215. Poggendorf bei G. LXVIII. 207.

2 Journ. XXXIII. 123.

3 G. LXXI. 168.

suchen geht er vorzugsweise von dem Grundsatze aus, daſs der magnetische Pol um den galvanischen Leiter oder letzterer um jenen eine kreisförmige Bewegung erhalten müsse (III. C. 6), und seine Ansichten schlieſsen sich daher im Allgemeinen an die eben erörterten an. Ohne inzwischen seine Meinung ausdrücklich zu äuſsern, scheint er doch der Autorität Wollaston's zu folgen, nach welchem ein nach einer Seite um einen Volta-schen Leiter kreisender elektrischer Strom alle Erscheinungen genügend erklärt. Was er übrigens von tangentialen Kräften äuſsert, welche hierbei gleichfalls thätig seyn sollen, und worauf er die Phänomene zurückführen zu wollen scheint, ist dunkel, und da er das Ganze nicht zu einem vollständigen Systeme geordnet hat, so übergehe ich die Sache lieber ganz.

C. Ampère's Theorie.

Ampère, welcher sich vom Anfange der Entdeckung des Elektromagnetismus an um diesen Zweig der Naturlehre bei weitem am meisten verdient gemacht hat, stellte bald nachher eine Theorie auf, unter welche er alle die verschiedenen Phänomene zu vereinigen suchte, und auf welche er die von ihm selbst beobachteten und aufgefundenen Erscheinungen mit anscheinend groſser Consequenz zurückführte. Er selbst hat diese später nur noch wenig ausgebildet; dargestellt ist sie auſserdem aber insbesondere durch Gilbert[1], Babinet[2], Savary[3], Demonferrand[4] und andere. Man erhält eine vollständige Uebersicht derselben aus den zahlreichen Aufsätzen des Erfinders in der bekannten Zeitschrift von Gay-Lüssac und Arago vom 15ten Bande an, oder mit manchen hinzugefügten erläuternden

1 In allen aufgenommenen Abhandlungen Ampère's. In seinen Annalen Bd. LXVII. ff. hat Gilbert diese Theorie auf die einzelnen Erscheinungen angewandt.

2 Darstellung der neuesten Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère u. Babinet, a. d. Fr. Leipz. 1822. 8.

3 Mém. sur l'application du calcul aux phénomènes él. par M. F. Savary. Par. 1823. Vergl. Ann. Ch. et Ph. XXII. 91.

4 Handbuch der dynam. El. u. s. w. insbesondere §. 67 u. 68, 74 ff. Eine mathematische Theorie ist ferner gegeben durch Hansteen in Magazin for Naturvidenskaberne af Lund. 1823. H. 2. p. 274. H. 3. p. 72.

Bemerkungen durch die ganze Reihe dieser Abhandlungen Ampère's, wie sie durch Gilbert in den Annalen wiedergegeben sind, kurz und vollständig in einer kleinen Abhandlung von Ampère[1] selbst, am ausführlichsten und mit einer sehr umfassenden Anwendung auf die meisten bis jetzt bekannten elektromagnetischen und thermomagnetischen Phänomene in der angezeigten Schrift von Demonferrand, aus welcher ich daher die folgende kurze Darstellung entnehme.

Ampère wurde auf die Idee, die Elektricität mit dem Magnetismus für identisch zu halten, anfangs durch die Beobachtung geführt, daſs zwei freischwebende elektrische Verbindungsdrähte bei gleichlaufender Strömung einander anziehen, und bei entgegengesetzter einander abstoſsen, mithin sich als wirkliche Magnete zeigen. Eigentlich müſste man hieraus eine Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus folgern, da gleichartige Elektricitäten sich abstoſsen, allein Ampère faſste insbesondere den Umstand auf, daſs die in den Leitern thätigen anziehenden Kräfte einander nicht zur Erzeugung der Indifferenz neutralisiren, welches allerdings mehr mit dem Verhalten der Magnete als elektrischer Conductoren übereinstimmt. Indem aber spiral- oder schraubenförmig gewundene Drähte in ihrem wesentlichen Verhalten sowohl gegen einander, als auch gegen galvanische Verbindungsdrähte und wirkliche Magnete diesen letzteren vollkommen gleichen, so veranlaſste dieses Ampère zu der Hypothese, den Magnetismus elektrischen Strömungen zuzuschreiben, welche in senkrecht auf die Axen der Magnete gerichteten Ebenen liegen. Einen Beweis für die Existenz solcher Strömungen findet er in der Beobachtung Coulomb's, daſs abgerissene Stückchen eines Magnetes noch doppelte Polarität zeigen, weswegen man die angenommenen magnetischen Strömungen nicht als die ganze Masse des Magnetes umgebend zu denken habe, sondern vielmehr als um Theilchen kreisend, welche auch nach ihrer Trennung vom Magnetstabe ihre magnetischen Eigenschaften behalten, d. i. um solche, welche kleiner sind, als man sie durch mechanische Theilung erhalten kann.

---

1 Précis de la théorie de phénomènes électro-dynamiques. Par. 1824. Eine andere kleine Abhandlung von nur 32 S. in 8. ist: Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes; par M. Ampère. Par. 1824.

In der Hauptsache sollen hiernach die krystallinischen Theilchen der Magnete den elektrischen Theilchen des Turmalins gleichen, mit dem Unterschiede, daſs bei ersteren das elektrische Leitungsvermögen hinzukommt, dessen Mangel letzteren hindert, ein Magnet zu werden [1]. Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns solcher elektrischen Strömungen im Eisen und Stahl soll noch vermehrt seyn durch die Entdeckung des Thermomagnetismus. (Die leicht mögliche Aufhebung des elektrischen Neutralitätszustandes durch die verschiedensten Ursachen kannte man schon vorher, namentlich bei den Nichtleitern, und es müſsten daher entweder diese die besten Magnete seyn, wenn der Magnetismus auf einer Aufhebung des elektrischen Gleichgewichts beruhete, oder alle Leiter müſsten bleibend magnetisch seyn, am meisten Silber, Kupfer und die andern vorzüglich leitenden Metalle, wenn das Leitungsvermögen der Elektricität die Bedingung des Magnetismus wäre.)

Um die Entstehung des Magnetismus durch elektrische Ströme nachzuweisen, geht Demonferrand von den schraubenförmig gewundenen Drähten aus, welche allerdings ganz eigentliche Longitudinalmagnete bilden. Hiernach hat man also eine Reihe Theilchen, welche mit der Axe des Magnetes parallel liegen, so anzusehen, als ob sie durch Vereinigung ihrer elektrischen Ströme einen jenen Schrauben ähnlichen Apparat bildeten, und ein Magnet müſste also aus einer groſsen Menge paralleler, sämmtlich von solchen nach einer Richtung kreisenden elektrischen Strömen umgebener, Cylinder bestehen, welche dann, in einen Stab vereinigt, allerdings einen bipolaren Magnet erzeugen könnten. Dieses zu versinnlichen sey A der Durchschnitt eines cylindrischen Magnetstabes normal auf seine Axe, jedes einzelne Cylinderchen a, a, a..., im gleichen Durchschnitte gezeichnet, stellt ein Element desselben vor, wobei die Pfeile die entgegengesetzten Strömungen der Elektricität an- Fig. 124.

1 Obgleich es zweckwidrig seyn würde, hier alle Argumente kritisch zu prüfen, so muſs es dem nachdenkenden Leser doch auffallen, daſs aus diesem an die Spitze gestellten gerade das Gegentheil folgt. Das angegebene Verhalten der Magnete ist nämlich ganz richtig, und im Wesen derselben gegründet; wenn man dagegen elektrisirte Körper trennt, so wird jedes Theilchen nur *eine* Elektricität zeigen, und nicht wie das magnetische beide Magnetismen. Pulverisirter Schwefel z. B. ist durchaus negativ u. s. w.

deuten, und der nämliche Effect, welcher durch diese letzteren rücksichtlich der Erzeugung eines aus Draht gewundenen Magnetes statt findet, muſs sich also auch bei einem Stahlmagnete zeigen, indem die gesammten Wirkungen im ganzen Kreise $\alpha\beta\gamma$ vereinigt sind. Werden dann die schraubenförmigen Magnete mit den gemeinen rücksichtlich ihrer Lage nach den Weltgegenden und der Richtung der elektrischen Strömungen verglichen, so gleichen die letzteren rücksichtlich dieser ihrer Polarität solchen der ersteren, bei denen die elektrischen Ströme von W. durch das Zenith nach O. und durch den Nadir rückwärts nach W. gelangen. Hiernach müssen also in einem gemeinen Magnete die elektrischen Strömungen oben eine Richtung von W. nach O, unten die entgegengesetzte von O. nach W. haben. Berücksichtigt man aber weiter, daſs der tellurische Magnetismus der entgegengesetzte des im künstlichen Stahlmagnete vorhandenen seyn muſs, so folgt hieraus nach AMPÈRE, daſs die durch den Lauf der Sonne aufgeregte Elektricität in der Richtung von O. nach W. oberhalb, und von W. rückwärts nach O. unterhalb die Erde zu einem im astronomischen Norden südpolaren Magnete machen müsse. Auf diese im elektrischen Leiter angenommenen entgegengesetzten Strömungen hat AMPÈRE die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zurückgeführt, sie liegen bei den mit groſsem Scharfsinn von ihm aufgestellten Formeln zum Grunde. Indeſs ergiebt eine nähere Prüfung bald, daſs hierbei eigentlich die jedem Elemente des elektrischen Leiters allerdings zukommenden bipolar magnetischen Anziehungen und Abstoſsungen construirt werden, denen AMPÈRE die elektrischen Strömungen ohne genügenden Beweis unterschiebt.

Fig. 125.

So sinnreich nämlich diese Darstellung auch ausgedacht ist, und so sehr sie sich insbesondere durch die letzteren Anwendungen empfiehlt, indem sie bedeutende Aufschlüsse über die Entstehung des tellurischen Magnetismus giebt, und noch bedeutendere selbst hinsichtlich der Rotationen der Erde verspricht [1],

1 Mehrere Physiker, ich selbst schon 1822, HERAPATH 1824 und STURGEON bald nachher haben die Idee geäuſsert, daſs sich die Rotation und der Umlauf der Planeten um die Sonne vielleicht auf ihren elektromagnetischen Zustand zurückführen lasse. S. Phil. Mag. N. LXV. 179. Indeſs ist die Sache zu sehr hypothetisch.

so zeigt sie doch bei näherer Prüfung auffallende Schwächen, und kann deswegen nicht unbedingt als Grundlage einer Theorie angenommen werden. Es läfst sich zwar im hohen Grade wahrscheinlich machen, dafs der tellurische Magnetismus das Resultat des Thermomagnetismus ist, welcher als elektrischer Zustand, durch den Impuls der Sonnenstrahlen erzeugt, sowohl die Polarität überhaupt, als auch die täglichen und jährlichen Variationen der Magnetnadel bedingend gedacht werden könnte. Man dürfte ferner ohne den Vorwurf allzukühner Hypothesen, annehmen, dafs die Erde vermöge ihrer Gröfse auf gleiche Weise eine so starke magnetische Kraft durch die ungleiche Erwärmung in Vergleichung mit kleineren Thermomagneten zeige, als ein auffallender Unterschied zwischen der Elektricität im Gewitter, und der kaum merkbaren bei der Bildung und Zersetzung des Wasserdampfes entstehenden statt findet. Wie unzulässig es dagegen sey, den *Magnetismus im Stahle* von solchen elektrischen Strömungen abzuleiten, dieses mufs auch ohne Rücksicht auf den Umstand, dafs die elektrischen Ströme in dem aus schraubenförmig gewundenen Drahte bestehenden elektrischen Magnete die im Stahlmagnete fehlende Isolirung nothwendig fordern, insbesondere auch daraus hervorgehen, dafs jeder Magnet, wie grofs oder klein und von welcher Gestalt er auch seyn mag, in jeder Lage und Richtung seiner magnetischen Axe im Strome der galvanischen Elektricität zum Leiter der letzteren, mit dem einem solchen allgemein zukommenden Magnetismus, wird, wodurch also der Unterschied beider Arten von Magnetisirung in ein und demselben Exemplare gegeben ist. Wenn aber die Richtung der elektrischen Strömungen den Magnetismus im Stahlmagnete erzeugte und bedingte, wie im elektrischen Leiter, so müfste bei der Unveränderlichkeit jener Strömungen der Nordpol des gemeinen Magnetes stets nach Norden gerichtet seyn, wenn man denselben auch durch einen ganzen Kreis im Azimuthe herumdrehete. Die Nichtleitung des Magnetismus im Stahle hebt dieses Argument nicht auf, wie aus dem eben Gesagten folgt, wenn man nicht einen Unterschied zwischen den natürlichen und den künstlich galvanischen elektrischen Strömungen einführen, und damit die ganze Theorie wieder aufheben will.

Eine Hauptstütze für seine Theorie findet Ampère darin, dafs sich die verschiedenen Formen, in denen sich ein gemei-

ner Magnet als bloſser Stab, als Inclinationsnadel, Declinationsnadel und sogar als astatische Nadel zeigt, durch den galvanischen Leitungsdraht gleichfalls darstellen lassen. Dieses hat allerdings etwas überraschendes, und die Bemühung, alle diese verschiedenen Formen künstlich darzustellen, veranlaſste die Erfindung der verschiedenen interessanten Apparate, welche gröſstentheils oben beschrieben sind. Genau genommen besagt dieses indeſs nichts anders als die ohnehin anerkannte, allerdings höchst wichtige Thatsache, daſs im elektrischen Leitungsdrahte ganz eigentlicher Magnetismus hervorgerufen werde, und man also durch zweckmäſsige Benutzung seiner Polaritäten die Stahlmagnete künstlich nachzubilden vermöge. Eben hiernach muſs sich indeſs dem unbefangenen Forscher nothwendig die Bemerkung aufdringen, daſs es beim gemeinen Magnete der elektrischen Strömungen nicht bedarf, um den Magnetismus hervorzurufen, welcher vielmehr bleibend in demselben enthalten ist, und daſs diesemnach zwar in beiden die nämliche Potenz wirksam ist, jedoch durch ganz verschiedene Bedingungen in ihnen hervorgerufen wird, und sich auf zwei nicht ganz unwesentlich abweichende Arten äuſsert.

Daſs ein von einem kräftigen galvanischen Strome durchströmter Leiter Eisenfeilicht anzieht, ist allerdings schwierig zu erklären, wenn man berücksichtigt, daſs eben derselbe den Pol einer Nadel nicht sowohl anzieht oder zurückstöſst, sondern zum Umkreisen sollicitirt. Ampère erklärt indeſs dieses Phänomen in Gemäſsheit seiner Theorie und insbesondere mit Rücksicht auf den oben (F) angeführten Versuch, wonach ein elektrischer Strom in einem mit ihm parallelen Leiter gleichfalls den Magnetismus hervorruft, auf folgende Weise. Er nimmt an, daſs entweder in jedem Eisentheilchen die elektrischen Strömungen schon präexistiren, oder nach allen Seiten gerichtet sind, und sich daher neutralisiren, bis sie durch die elektrischen Strömungen eines andern Magnetes erst eine bestimmte Richtung erhalten; oder daſs keine in demselben vorhanden sind, sondern durch einen genäherten Magnet erst hervorgerufen werden. Welche von diesen beiden Ansichten die richtige sey, darüber wagt er bei unserer Unkenntniſs vom eigentlichen Wesen der Elektricität nicht zu entscheiden. Hierbei dringt sich indeſs abermals die Frage auf, warum die in einem Magnete vorhandenen elektrischen Ströme nicht ganz gleiche elektrische

Wirkungen hervorbringen, als die in einem galvanischen Leiter; warum ferner der Magnetismus im Eisen nicht auf gleiche Weise bleibend erhalten wird als im Stahle, da doch beide rücksichtlich der elektrischen Leitungsfähigkeit nicht von einander abweichen, und warum endlich die den Magnetismus im Stahle erzeugenden Strömungen nicht auch eine gleiche Wirkung in andern Metallen (aufser Nickel und Kobalt) hervorrufen, da doch der Stahl rücksichtlich seiner elektrischen Leitungsfähigkeit weder zu den besten noch den schlechtesten elektrischen Leitern gehört[1].

Es ist bei der Darlegung dieser Theorie schon beiläufig auf die darin herrschende Willkühr und den Mangel an innerer Consequenz hingedeutet[2], welche Fehler indefs hauptsächlich aus der Voraussetzung der Identität der Elektricität und des Magnetismus hervorgehen. Eine weitere willkührliche Annahme, nicht aus dem Wesen der Sache hergenommen und nicht wieder bis dahin verfolgt, liegt gleich in der Einleitung zu dieser Theorie der Voraussetzung zum Grunde, nach welcher Ampère, in Uebereinstimmung mit Oersted, zweierlei Wirkungsformen der Elektricität annimmt, nämlich die mit Spannung versehenen, durch Stofs und Druck sich äufsernden, und die in freien Strömungen bestehenden, in den chemischen, erwärmenden und magnetischen Phänomenen sich zeigenden. Allein dafs diese, von einigen wenigen Naturerscheinungen hergenommene Ansicht auf andere nicht passe, fällt dem unbefangenen Forscher sogleich in die Augen. Unter andern zeigt sich nämlich die Elektricität nicht wohl in stärkerer Spannung, als beim Blitzstrahle, und dennoch bringt dieser nicht blofs dicke Stangen zum Glühen, sondern erzeugt auch im Stahl bleibenden und starken Magnetismus. Dafs ein Unterschied in den Wirkungsarten der Reibungselektricität und der Volta'schen statt finde, ist zwar keinen Augenblick zu bezweifeln, allein allgemein und scharf begrenzt ohne Rücksicht auf die verschiedene Stärke und anderweitige Modificationen kann man denselben nicht nennen.

---

1 Vergl. G. G. Schmidt bei G. LXXIV. 262.

2 Dieses findet insbesondere auch Biot, dafs namentlich stets eine neue Hypothese zur Unterstützung der schon aufgestellten gesucht werden mufs, weswegen er geneigter ist, die Erscheinungen am elektrischen Leiter als rein magnetisch zu betrachten. S. Précis élém. de Phy. II. 772. Vergl. Journ. des Savans. 1821. Avril.

Außerdem läſst sich noch ein Mangel innerer Consequenz bei dieser Theorie nachweisen. Ampère hat nämlich die Erfahrung dabei zum Grunde gelegt, daſs ein schraubenförmig gewundener Draht einen bipolaren Magnet darstellt. Diese Aehnlichkeit ist richtig, indeſs folgt die Art der Wirksamkeit solcher schraubenförmig gewundenen Drähte aus der anfänglichen Beobachtung Oersted's, wie oben nachgewiesen ist, statt daſs nach Ampère eigentlich dieses letztere Phänomen aus jenem erklärt werden müſste. Allein hiervon abgesehen geht dieser Gelehrte von solchen schraubenförmig gewundenen Drähten, die einen meſsbaren Durchmesser haben, in seinen Schlüssen über die Wirkungen der natürlichen Magnete zu solchen über, welche kleiner sind, als unsere Messungen umfassen, und von denen es daher fraglich ist, ob sie dann noch als solche Spiralen, oder als massive Stahltheilchen, und nicht um einen, wenn auch noch so kleinen Raum gewundene Schraubenwindungen anzusehen sind. Die Willkühr in dieser unbewiesenen Voraussetzung muſs so viel mehr auffallen, wenn man berücksichtigt, daſs in der Länge des Stahlmagnetes diese hypothetischen Windungen ohne Unterbrechung von einem Ende zum andern in vollkommener Leitung vorhanden seyn müssen, indem eine Unterbrechung die Wirksamkeit aufheben würde; nach der Dicke des Stahlmagnets soll dagegen eine Isolirung der einzelnen Schraubenwindungen statt finden, ohne welche sie in einander fallen, und sich aufheben müſsten. Da man aber aus einem Längenmagnete einen Transversalmagnet machen kann und umgekehrt, so müſste ja nach der Willkühr des Operirenden in einem Stahlstücke die elektrische Leitung nach jeder Seite hin hervorgebracht und aufgehoben werden können. Ampère hat, um einigen Einwendungen zu begegnen, erst später diese einzelnen verschwindend kleinen, durch ihre Gesammtwirkung einen Stahlmagnet bildenden, Schraubenwindungen in seine Theorie aufgenommen[1].

Dasjenige, was mir selbst und gewiſs auch vielen andern die genauere Kenntniſs und Uebersicht der Ampère'schen Theorie ausnehmend erschwert hat, ist der Umstand, daſs ihr berühmter Erfinder das ursprüngliche Hauptfactum, nämlich die eigenthümliche magnetische Wirkungsart des einfachen elek-

1 G. LXXII. 257.

trischen Leiters auf die Magnetnadel eigentlich ganz unerklärt läſst, während er mit vielem Scharfsinn die Entstehung eines Stahlmagnetes aus elektromagnetischen gewundenen Leitern ableitet, und den gegenseitigen Einfluſs beider auf einander unter den mannigfaltigsten Modificationen mit bewundernswerther Kunst entwickelt. Auch seine mit groſser Gewandtheit im Calcül und Anwendung der scharfsinnigsten Combinationen durchgeführte geometrische Construction der gesammten elektromagnetischen Erscheinungen legt die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Ströme auf einander zum Grunde, und übergeht somit die Wirkung des einfachen Leiters auf die Magnetnadel, welche Ampère übrigens als Thatsache mitzutheilen keineswegs verabsäumt. Wenn man aber in der aufgestellten Theorie rückwärts von einem Magnete zu einem einfachen galvanischen Leitungsdrahte übergeht, so kann man in demselben nur einen bipolaren Transversalmagnet finden, welcher indeſs die Phänomene nicht erklärt; oder man muſs zu den Wirbeln nach Oersted seine Zuflucht nehmen, wie denn auch dieser Physiker die Ampère'sche Theorie nur als eine Erweiterung seiner eigenen betrachtet, wonach aber die Erklärung der gemeinen Magnete aus den elektromagnetischen Strömungen sich in ein noch weit mehr unauflösliches Gewirre verlieren würde, als dieses schon bei den aus schraubenförmig gewundenen Drähten bestehenden Cylindern und den Multiplicatoren der Fall ist[1].

Verschiedene Physiker haben Ampère's Theorie dadurch zu widerlegen gesucht, daſs sie einen Widerspruch derselben mit den Erscheinungen aufgefunden zu haben glaubten. Allein Ampère ist allen diesen Einwürfen begegnet, und hat bei den meisten nachgewiesen, daſs die ihm entgegengestellten Phänomene vielmehr aus seiner Theorie nothwendig folgten, welches übrigens nicht schwer seyn kann, wenn man einmal die Prämisse zugesteht, daſs ein elektrischer Strom seinen Leiter an der einen Seite nordpolar, an der andern südpolar magnetisch macht, hierbei die obere Seite der unteren, die rechte der linken entgegengesetzt, und hieraus ein Umlaufen der Pole um den ganzen Umfang des Leiters erzeugt werden läſst, aus welchem letzteren Gesetze alle elektromagnetischen Erscheinungen in ihren vielfachen Modificationen oben abgeleitet sind. Der

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 246.

Kürze wegen wird es daher am besten seyn, die bereits erledigten Einwürfe nur namhaft zu machen, bei denjenigen aber etwas länger zu verweilen, welche mir von gröfserer Bedeutung zu seyn scheinen.

Unter die erstere Classe gehören hauptsächlich folgende. 1. Von Althaus[1] zeigte, dafs die Anziehung von zwei Drähten bei gleichlaufender elektrischer Strömung aus der Theorie eines doppelt bipolaren Transversalmagnetismus weit leichter und consequenter, als nach Ampère erklärt werden könne; allein dieser Einwurf war zunächst nur gegen die anfänglich versuchte Ableitung dieser Erscheinung aus elektrischen Strömungen, als solche, gerichtet. 2. De la Rive[2] und, wie es scheint mit ihm übereinstimmend, Faraday[3] glaubten, dafs die Erscheinungen, welche der von ersterem angegebene schwimmende elektromagnetische Apparat darbietet, aus Ampère's Theorie nicht wohl erklärlich sey, wovon aber das Gegentheil schon ausführlich gezeigt ist[4]. 3. Einige Verschiedenheiten, welche Faraday[5] zwischen einem Stahlmagnete und einem aus schraubenförmig gewundenem Drahte bestehenden auffindet, sind nach dem Urtheile dieses Physikers selbst nicht sehr bedeutend, indem übrigens die Aehnlichkeit noch viel zu grofs ist, als dafs sich hieraus ein entscheidendes Argument gegen die Zulässigkeit der Theorie hernehmen liefse. 4. Endlich verdient ein Einwurf, welchen de la Rive[6] aus dem Verhalten eines in einer horizontalen Ebene beweglichen horizontalen Leiters mit zwei herabhängenden Armen hernimmt, nur deswegen kurz erwähnt zu werden, um nicht übersehen zu scheinen. Uebrigens aber sind alle Bewegungen solcher elektromagnetischer Drähte so vielfach untersucht, wie auch die mitgetheilte Beschreibung derselben darthut, dafs hieraus kein Gegenbeweis hergenommen werden kann, und aufserdem stimmt das von de la Rive beobachtete Verhalten genau mit den übrigen Phänomenen solcher Leiter überein.

---

1 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. S. 21 ff.
2 G. LXXI. 113.
3 Ebend. S. 149.
4 Demonferrand a. a. O. §. 50.
5 G. LXXI. 164.
6 G. LXXII. 130. Vergl. Gilbert ebend. S. 221.

Unter die zweite Classe, nämlich die noch nicht vollständig beseitigten Einwürfe scheinen mir folgende zu gehören. 1. Im Ganzen ist Oersted's Argument[1], mindestens von einer Seite betrachtet, noch keineswegs genügend beseitigt. Wenn man nämlich zwei Magnetnadeln als durch elektrische Ströme magnetisch seyend betrachtet, so würde aus dem oft von Ampère aufgestellten Satze, dafs Ströme von gleicher Richtung einander anziehen[2], nothwendig folgen, dafs sie sich mit ihren gleichnamigen Polen an einander legen müfsten, wovon indefs die Erfahrung gerade das Gegentheil darthut. Ampère sucht diesen Einwurf dadurch zu beseitigen, dafs er zu den von allen Seiten her gerichteten Strömungen in einem Stahlmagnete seine Zuflucht nimmt, woraus dann die Abstofsung ihrer gleichnamigen Pole erklärlich werden soll; allein wenn man streng bei der Sache bleibt, so läfst sich eben so wenig die gleiche Richtung der elektrischen Ströme in Magnetnadeln nach Ampère's Theorie zurückweisen, als das Factum der demnach statt findenden Abstofsung leugnen. Das Verhalten beider Potenzen, sowohl der Elektricität als auch des Magnetismus, spricht aufserdem ganz entscheidend für Oersted; denn man nähere einem + elektrischen oder magnetischen Pole so viele andere gleichnamige, als man will und in allen denkbaren Richtungen, so wird allezeit Abstofsung und nirgends Anziehung sichtbar werden. Wirklich zeigt sich in dieser Hinsicht auch selbst ein elektromagnetischer schraubenförmig gewundener Draht mit einem Stahlmagnete völlig übereinstimmend. Hierbei tritt aber eben die oben schon bemerkte Schwäche der Ampère'schen Theorie und die Unzulässigkeit der Hypothese von der Identität der Elektricität und des Magnetismus sichtbar hervor. Wenn es nämlich darin heifst: „*zwei elektrische Ströme von gleicher Richtung ziehen einander an*," so ist dieses falsch, und müfste vielmehr heifsen: *zwei von der Elektricität in gleicher Richtung durchströmte Drähte ziehen sich vermöge des in ihnen erzeugten Magnetismus an.* Denn wirklich stofsen sich hierbei die gleichartigen Elektricitäten ab, allein viel zu schwach, als dafs dieses merklich seyn sollte; die Magnetismen ziehen sich

1 Schweigg. J. XXXII. 222.

2 Biot Préc. élém. de Phy. II. 772 nennt diese Hypothese allen bekannten Erscheinungen widersprechend.

dagegen an, weil die Leitungsdrähte nicht in einander, ihre Magnetismen daher nicht zusammenfallen können, wie die um den ganzen Leiter überall gleichartigen Elektricitäten. Hinsichtlich des Magnetismus derselben ist aber oben und unten, rechts und links einander entgegengesetzt, und so müssen bei gleichartiger und gleichgerichteter elektrischer Strömung zwar gleiche Elektricitäten, zugleich aber entgegengesetzte Magnetismen zusammenfallen, welche letztere allein und im Widerstreite mit den elektrischen Wirkungen einander anziehen.

2. Je mehr Mühe Ampère aufgewandt hat, die Identität eines aus schraubenförmigen Windungen bestehenden, und eines stählernen Magnetes durch die Annahme gleichgerichteter elektrischer Strömungen darzuthun, um so viel schwerer wird es ihm werden, einem zweiten Einwurfe zu begegnen. Ein schraubenförmig gewundener Drahtcylinder kann nämlich eine Stahlnadel nur dann magnetisch machen, wenn beider Längenaxen zusammenfallen. Soll nun ein Stahlmagnet seinen Magnetismus gleichen elektrischen Strömungen verdanken, so kann gar kein oder bloſs ein transversaler Magnetismus in einem Stahlstabe erzeugt werden, wenn man ihn mit einem andern Magnete so streicht, daſs ihre beiden Axen normal auf einander gerichtet bleiben; es entsteht aber statt dessen ein Longitudinalmagnet[1].

3. Ein sehr gewichtiges, und, wie mir scheint, gar nicht zu beseitigendes Argument geht aus den interessanten Versuchen hervor, welche G. G. Schmidt bekannt gemacht hat[2]. Auf welche Weise durch einen elektrischen Leiter in Stahlnadeln, welche quer unter oder über demselben liegen, bleibender Magnetismus hervorgerufen wird, ist oben (III. B. 4 ff.) angegeben. Hiernach klebe man einen 2‴ bis 3‴ breiten Streifen Blattgold auf eine Glasplatte, lege quer darüber ein Stück Uhrfeder 1 bis 1,5 Z. lang, nachdem man dasselbe vorher mit Lackfirniſs überzogen hat, über diese wieder eine Glasplatte und auf diese einen Magnetstab so, daſs er mit seinem Nordpole das nördliche Ende der Uhrfeder decke, wodurch der Südpol so weit entfernt wird, daſs seine Wirkung nicht in Betrachtung kommt. Es habe dann gröſserer Deutlichkeit wegen der

1 Pfaff: der Elektromagnetismus. u. s. w. S. 242.
2 G. LXXIV. 263.

Blattgoldstreifen und die ihn durchströmende Elektricität die Richtung von O. nach W. In diesem Falle muſs ohne den Einfluſs des Stahlmagnetes das nördlich gerichtete Ende der Uhrfeder gleichfalls nordpolarisch werden. In dem Stahlmagnete sind aber nach Ampère die elektrischen Strömungen unten gleichfalls von Osten nach Westen gerichtet, die Uhrfeder liegt also zwischen zwei von O. nach W. gerichteten elektrischen Strömen, und müſste um so mehr am nördlichen Ende nordpolarisch werden, wird aber statt dessen *südpolarisch*. Legt man unter übrigens ganz gleichen Bedingungen den Südpol über die Uhrfeder, so wird das nördliche Ende stärker nordpolarisch, und man kann nicht umhin zu gestehen, daſs beide Resultate mit den Ampère'schen Wirbeln im Widerspruche stehen[1]. Die Erscheinung selbst wird übrigens durch G. G. Schmidt eben so einfach als genügend dadurch erklärt, daſs sowohl der elektrische Strom als auch der Stahlmagnet den Magnetismus im Stahle aufregen, und daſs hierbei die entstehende Polarität durch die Summe dieser gleichen oder entgegengesetzten Kräfte bedingt wird, wonach sie also sowohl positiv als auch negativ oder = 0 seyn kann[2].

D. Theorieen vom Transversalmagnetismus.

Eine groſse Anzahl von Physikern sehen in dem Leitungsdrahte der Elektricität nichts anders als einen *Transversalmagnet* mit der Axe parallel laufenden nördlichen und südlichen magnetischen Polaritäten. Wirklich kündigt sich derselbe sowohl in dieser seiner einfachen Gestalt, als insbesondere in seinen schraubenförmigen Windungen durch die alsdann zu beiden Seiten hervortretende entschiedene nördliche und südliche Polarität so deutlich als einen solchen an, daſs diese einfachste unter allen Erklärungsarten viele Anhänger finden muſste, um so mehr, als sie in der Bipolarität aller bekannten magnetischen Erscheinun-

1 Es scheint mir aus diesem Versuche, wie aus verschiedenen andern hervorzugehen, daſs die gröſste magnetische Kraft sich an den Enden der Stahlmagnete befinde, welches Faraday bei G. LXXI. 124 aus ungenügenden Gründen bezweifelt.

2 Verschiedene andere Einwendungen, obwohl nicht unbedeutende, übergehe ich der Kürze wegen; z. B. Leop. Nobili in Questioni sul Magnetismo. Modena 1824. Vorzüglich Qu. 5.

gen eine bedeutende Unterstützung hat. Jeder Querschnitt des elektrischen Leiters bildet sonach eine Fläche, in welcher um den Mittelpunct des elektrischen Stromes die entgegengesetzten magnetischen Pole liegen, deren Zahl von den Anhängern dieser Ansicht sehr verschieden angegeben wird. Alle diese mannigfaltig modificirten Theorieen haben mit Oersted und Faraday den Vorzug gemein, daſs sie von dem ersten Fundamentalversuche bei ihren Erklärungen ausgehen, und sie lassen sich bei allen Abweichungen von einander zur leichteren Uebersicht doch deswegen füglich zusammennehmen, weil sie mindestens in *einem* wesentlichen Puncte mit einander übereinkommen. Ueber das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus und die Erzeugung des letzteren durch erstere erklären sie sich nicht weiter, als daſs sie beide für verschiedene Potenzen halten, und die dargebotenen Erscheinungen selbst als gegebene Thatsachen ansehen. G. G. Schmidt äuſsert sich hierüber am bestimmtesten, indem er sagt[1]: „daſs der elektrische Strom immer transversalmagnetisch erregend wirkt, und zwar in Beziehung auf seine Richtung nach derselben Seite immer dieselbe Polarität erzeugend, das kann nicht weiter erklärt werden, wie so vieles andere in der Physik. Es ist Thatsache." Etwas über die Sache selbst entscheidend drückt sich Seebeck[2] aus, wenn er annimmt, daſs *nicht die Elektricität an sich*, nicht *das Heraustreten derselben aus ihrem Indifferenzzustande* oder die Trennung des + und — den Magnetismus hervorrufe, sondern die *hierdurch bewirkte Veränderung im Innern der Körper*. Könnte durch die bloſse Ausgleichung von + und — E. Magnetismus erregt werden, so würden auch diejenigen Leiter derselben sich magnetisch zeigen, durch welche sie still hinströmt, welches nicht der Fall ist, und es kann daher diese Wirkung nur dann statt finden, wenn die Metalle auf eine solche Weise verändert werden, daſs sich Erwärmung, Schmelzung u. dgl. offenbaren. Daſs in den Metallen, wenn die Reibungs-Elektricität auch in geraumer Zeitdauer und bedeutender Stärke durch Spitzen in sie ein- und ausströmt, kein Magnetismus erregt wird, spricht allerdings sehr für diese Ansicht; wenn man aber berücksichtigt, daſs selbst die langsamen und schwachen

1 G. LXXIV. 265.

2 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 334.

Strömungen durch Säuren und Laugensalze bedeutende Abweichungen der Magnetnadel hervorbringen, so wird auch dieser Punct wieder zweifelhaft, und wir müssen also zu dem Bekenntnisse zurückkommen, daſs wir die eigenthümliche Art der Erregung des Magnetismus durch die Elektricität noch nicht zu erklären wissen.

Es scheint auf den ersten Anblick, als wenn alle einen Transversalmagnetismus annehmende Theorieen an dem einfachen Phänomene scheitern müſsten, daſs die Spitze der Nadel vom elektrischen Leiter an einzelnen Stellen nicht sowohl angezogen und abgestoſsen wird, als vielmehr unter, über und neben demselben oscillirt. Am scheinbarsten ist dieses Argument, wenn eine feine, an einem Seidenfaden dicht über dem elektrischen Leiter schwebende, Nadel beim Schlieſsen der Kette durchaus keine Neigung zeigt, abgestoſsen oder angezogen zu werden, sondern mit groſser Energie östlich oder westlich abweicht, und nicht selten in einem ganzen Kreise herumgeschleudert wird. Es scheint mir daher ein nicht ganz unbedeutender Beitrag zur Lehre vom Elektromagnetismus zu seyn, daſs ich selbst zuerst durch einen Versuch das zur Erklärung dieser Erscheinung erforderliche Gesetz aufgefunden, später aber, durch eine freundschaftliche Belehrung von G. G. Schmidt erinnert, dasselbe aus dem bekannten Verhalten des Magnetismus abgeleitet und bewiesen habe[1]. Dieses etwas paradox klingende Gesetz heiſst: *Der Pol einer Magnetnadel wird von zwei combinirten, unter sich freundschaftlichen, magnetischen Polen weder angezogen noch abgestoſsen, sondern durch die vereinte Wirkung derselben nach der Seite der verlängerten Richtung des feindlichen Poles hingezogen, vor diesem und dem freundschaftlichen Pole vorübergeführt und vor letzterem hin fortgestoſsen.* Daſs dieses Gesetz aus dem bekannten der Anziehung und Abstoſsung ungleichnamiger und gleichnamiger magnetischer Pole mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft nothwendig folge, ersieht man bald, wenn man nur die Linien b a, c a, in welchen die magnetischen Kräfte abstoſsend und anziehend auf den Pol a wirken, in ihre Componirenden zerlegt, wobei man bald überzeugt wird, daſs der positive Pol a nothwendig nach d getrieben werden muſs. Fig. 126.

1 G. LXXI. 411. Vergl. LXX. 161.

Noch deutlicher ergiebt sich die Nothwendigkeit dieses Erfolges, wenn man die gleichzeitige Wirkung der andern beiden Pole der combinirten Magnete auf den genäherten Pol und die vereinte aller vier Pole auch auf das entgegengesetzte Ende der Nadel mit berücksichtigt; eine genaue Berechnung erhebt aber den aufgestellten Satz über allen Zweifel, indeſs lasse ich diese hier weg, da sie an sich leicht zu finden ist, und ich überhaupt keinen Calcül in diese Untersuchung aufnehmen mag, deren Gegenstand mir noch zu neu scheint, als daſs das Nothwendige von dem minder Nöthigen schon hinlänglich geschieden wäre. Die Berechnung ergiebt dann ferner, bis zu welcher Entfernung von den combinirten Polen mit Rücksicht auf ihren Abstand und ihre eigene Ausdehnung das Gesetz noch gültig ist, indem es bei zu groſser Annäherung keine Anwendung mehr finden kann, wie in der erwähnten Abhandlung ausführlich gezeigt ist[1].

Nach dieser allgemeinen Betrachtung, welche einen, gegen jede auf den Transversalmagnetismus gebauete Theorie sogleich sich aufdringenden, Einwurf ein für allemal beseitigt, will ich dieselben einzeln kurz darzustellen mich bemühen, und dabei bloſs die allein erforderliche Hauptfrage berüchsichtigen, ob und in wie fern sie das elektromagnetische Hauptphänomen, nämlich das Umlaufen des magnetischen Poles um den elektrischen Leiter vollständig erklären, indem jede Theorie allen Forderungen Genüge leistet, wenn man dieses vollständig von ihr nachweisen kann.

1. Schmidt's Theorie vom bipolaren Transversalmagnetismus.

Nach G. G. Schmidt ist der elektrische Leitungsdraht nichts anders, als ein einfacher Transversalmagnet, welcher an seinen beiden Seiten in seiner ganzen Länge an der einen nordpolarischen, an der andern südpolarischen Magnetismus zeigt. Ein

---

1 Die Nichtbeachtung dieser, von mir erst später angegebenen Bedingung, so wie das Erforderniſs, daſs die Pole der gebrauchten Magnete, mindestens sehr nahe, gleich stark seyn müssen, hat veranlaſst, daſs einige Physiker beim Versuche nicht ganz die erwarteten Resultate erhalten haben. Vergl. Kries bei G. LXXI. 58. Pfaff der Elektrom. S. 270.

solcher mufs demnach in Folge des eben erläuterten Gesetzes eine östliche und westliche Declination der Magnetnadel hervorbringen, wenn er über der Declinationsnadel, beider Axen parallel laufend, gehalten, und dann um 180° um seine Axe gedrehet wird. Von unten auf gleiche Weise genähert und umgedrehet zeigt er die nämlichen Wirkungen. Auffallend ist allerdings die Uebereinstimmung des Verhaltens eines künstlichen Transversalmagnetes mit dem des elektrischen Leiters. Verfertigt man jenen so, wie oben (III. B. 7.) angegeben ist, so erhält man einen Apparat, welcher nach meinen eigenen Erfahrungen Jahre lang die östliche und westliche Abweichung der Magnetnadel deutlich bewirkt, wenn man ihn auf die angegebene Weise über und unter dieselbe hält, und die Aehnlichkeit seiner Wirkungen mit denen eines Leiters der galvanischen Elektricität rücksichtlich dieser beiden Erscheinungen ist so sprechend, dafs man im Augenblicke der Beobachtung kaum umhin kann, dieser Theorie anzuhängen. Noch mehr aber: G. G. Schmidt umwickelte einen Streifen dünnen Messingblechs, etwa 1 F. lang und 2 Lin. breit, mit Stahldraht, machte diesen auf die angegebene Weise zu einem Transversalmagnete, wickelte ihn dann um einen hohlen Cylinder von dickem Kartenpapier schraubenförmig, und erhielt hierdurch einen dem schraubenförmig gewundenen elektrischen Leiter vollkommen nachgebildeten bipolaren Magnet. Auf gleiche Weise bildete er mit demselben die elektromagnetische Spiralscheibe nach[1].

Die hier in ihren wesentlichsten Elementen mitgetheilte Theorie empfiehlt sich ausnehmend durch ihre grofse Einfachheit und innere Uebereinstimmung mit anderweitigen Naturerscheinungen. Ueberall, wo der Magnetismus sonst hervortritt, zeigt sich derselbe bipolar, und man dürfte daher nur annehmen, dafs die Elektricität den Leitungsdraht derselben auf eine gleiche Weise temporär magnetisch machte, als sie dem Stahle unter geeigneten Umständen bleibenden Magnetismus mittheilt, um die ganze Reihe der elektromagnetischen Erscheinungen den bekannten magnetischen anzufügen. Leider aber reicht die Hypothese nicht hin, um das elektromagnetische Hauptphänomen vollständig zu erklären. Man hat gegen dieselbe eingewandt, dafs am elektrischen Leitungsdrahte keine Indifferenz-

1 G. LXX. 229. LXXI. 387. LXXII. 1.

linien anzutreffen seyen, wie am künstlichen Transversalmagnete, und dafs das Eisenfeilicht sich rund um den ersteren anlege, an letzterem aber nur in den Richtungslinien der beiden Pole festhänge[1]. Allein beide Argumente sind ungenügend. Beim elektrischen Leiter berühren sich beide entgegengesetzte Pole in seiner Axe, beim künstlichen Transversalmagnete dagegen befinden sie sich in mefsbarer Entfernung von derselben, jener kann daher keine Indifferenzlinien zeigen, wie dieser, und das Eisenfeilicht mufs sich daher auf seiner ganzen Oberfläche anlegen. Der elektromagnetische Draht nämlich, woran dieses letztere Phänomen beobachtet wird, ist entweder dünn oder dick. Im ersten Falle liegen die beiden Pole einander so nahe, dafs keine Stelle von demselben unbedeckt bleiben kann, im zweiten Falle aber wird überhaupt kein Anhängen des Eisenfeilicht beobachtet werden, wenn der erregte Magnetismus nicht bedeutend stark ist, und dann kann gleichfalls keine Stelle unbedeckt bleiben. Schwerlich wird dieses Phänomen nämlich schon an dickeren Drähten, als solchen beobachtet seyn, welche zwei Lin. im Durchmesser hatten, und diese sind noch immer zu dünn, als dafs bei der Anziehung von zwei magnetischpolaren Linien eine Stelle unbedeckt bleiben sollte. Es scheint mir in dieser Erscheinung vielmehr ein Beweis *für* die Theorie der transversal polaren Linien zu liegen; denn wenn man zwei Magnetstäbe mit ihren freundschaftlichen Polen neben einander legt, und auf ihre Vereinigungslinie Eisenfeilicht streuet, sie dann 0,5 bis 1 Lin. von einander entfernt, so bietet das Eisenfeilicht gerade solche streifige Gestalten dar, als ein stark magnetischer Leitungsdraht sie zeigt. Es wäre allerdings der Mühe werth, mit Hülfe der riesenmäfsig grofsen Apparate, welche manchen Instituten zu Gebote stehen, diese Versuche in einem gröfseren Mafsstabe zu wiederholen, weil hierdurch vielleicht die endliche Entscheidung der Streitfrage herbeigeführt werden könnte. Ich selbst habe zu diesem Ende eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser mit Stanniol so überklebt, dafs die Enden desselben etwas mehr als einen Zoll über die Enden der Glasröhre hinausragten. In die Glasröhre waren an beiden Seiten durchbohrte Körke gesteckt, in diese die Enden von zwei 1,5 Lin. im Durchmesser haltenden Messingdrähten, um welche die Rän-

---

1 Pfaff: der Elektromagnetismus. u. s. w. p. 278.

der des Stanniols herumgelegt, mit einem schmalen Streifen Stanniol umwunden, und so auf den Drähten festgelöthet wurden. Allein der oben (II. A. 6.) beschriebene Apparat war zu schwach, oder vielmehr die Bedingungen waren zu ungünstig, als daſs er die Anziehung des Eisenfeilicht auf der Oberfläche dieses hohlen Metallcylinders bewirkt haben sollte, obgleich ich nicht zweifle, daſs bei SINGER's und andern ähnlichen Batterieen noch gröſsere Cylinder angewandt werden könnten.

Inzwischen reicht diese, in so mancher Hinsicht empfehlenswerthe Hypothese nicht hin, um die wichtigsten elektromagnetischen Phänomene zu erklären, und zwar stehen ihr folgende Argumente entgegen.

1. *Sie läſst das ursprüngliche elektromagnetische Hauptphänomen unerklärt.* Hält man einen künstlichen Transversalmagnet *über* eine Declinationsnadel, beider Axen in einer verticalen Ebene liegend, so ist allerdings die östliche oder westliche Abweichung der Nadel derjenigen völlig gleich, welche sie unter dem galvanischen Verbindungsdrahte zeigt, hält man ihn aber, ohne Umdrehung um seine Axe *unter* die Nadel, so ist die Abweichung derselben mit der vorigen identisch, anstatt ihr entgegengesetzt zu seyn, wie beim elektrischen Leiter. Es folgt dieses so ziemlich nothwendig aus der Erzeugung des Transversalmagnetes durch die Einwirkung der unteren Seite eines elektrischen Leiters, welcher über ihm hingeführt ist, wonach er also nur die Wirkung dieser *einen* Seite erhalten kann. Auf gleiche Weise wirkt der Transversalmagnet östlich oder westlich von der Nadel, mit dieser in einer horizontalen Ebene gehalten, nur anziehend auf den einen und zugleich abstoſsend auf den andern Pol der Declinationsnadel, ist dagegen indifferent gegen die Inclinationsnadel, statt daſs der galvanische Verbindungsdraht vielmehr indifferent gegen jene ist, diese dagegen in einer verticalen Ebene bewegt. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, daſs der künstliche Transversalmagnet keine Drehung um seine Axe erhält, sondern diejenige Lage behält, in welcher er über der Declinationsnadel gehalten eine Abweichung derselben bewirkte.

2. Auch das Umlaufen des Poles um den lothrechten galvanischen Leiter ist aus dieser Hypothese nicht erklärlich. Wie man sich nämlich die Lage der beiden polaren Linien am verticalen Leiter auch denken mag, so muſs nothwendig die in

einer horizontalen Ebene um ihn bewegliche Nadel zwei Maxima und zwei Nullpuncte der sie bewegenden Kraft finden, erstere da, wo ihre verlängerte Axe auf die Ebene beider Linien senkrecht gerichtet ist, letztere da, wo sie mit derselben zusammenfällt. Rücksichtlich der ersteren mufs die Abweichung der genäherten Magnetnadelspitze auf beiden Seiten des elektrischen Leiters entgegengesetzt seyn, was der Erfahrung widerstreitet; in Beziehung auf die Indifferenzpuncte könnte man allerdings sagen, dafs diese geometrischen Puncte in der Wirklichkeit durch die physische Nadelspitze nicht eingenommen werden könnten. Allein es wäre doch in der That auffallend, wenn dieselben bei allen zahlreichen Versuchen niemals zum Vorschein gekommen seyn sollten, und auf allen Fall bliebe die überall im ganzen Umfange des lothrechten Leiters ganz gleiche Ablenkung der Nadelspitze durchaus unerklärlich.

3. Das Verhalten zweier elektromagnetischer Leitungsdrähte gegen einander stimmt mit der Annahme des bipolaren Transversalmagnetismus nicht überein. Wenn nämlich zwei solche Drähte bei gleichgerichteter Strömung über einander liegen, so müfsten sie sich in *verticaler Richtung* abstofsen, statt dafs sie in *parallelen horizontalen Ebenen* sich einander zu nähern suchen und dann in *verticaler Richtung* angezogen werden. Bei ungleicher Richtung der Strömungen müfsten sie sich dagegen in *verticaler Richtung* anziehen, statt dafs sie in dieser abgestofsen werden, und sich in *parallelen horizontalen Ebenen* von einander zu entfernen streben. Für die horizontale Lage beider neben einander stimmt die Hypothese mehr mit der Erfahrung überein.

4. Genau genommen läfst diese Hypothese das Verhalten der spiralförmig gewundenen Scheibe unerklärt. Wäre nämlich jeder Draht ein bipolarer Transversalmagnet, so müfste diese Scheibe einen bipolaren Cylinder von nördlichem und südlichem Magnetismus bilden, dessen Stärke an jeder Stelle eines Querschnittes desselben völlig gleich wäre, statt dafs die Mitte beider Seiten die gröfste Intensität der magnetischen Kraft zeigt.

5. Endlich beantwortet diese Hypothese auch *die* Frage nicht genügend und mindestens nicht direct, warum der elektrische Leitungsdraht blofs über oder unter den schraubenförmig gewundenen Stahldrähten hingeführt diese letzteren bipolar magnetisch macht, und nicht auch dann, wenn er mitten

durch die Axe eines solchen Cylinders geleitet wird, welches, so viel ich weiſs, noch niemanden gelungen ist. Ich selbst habe, auſser manchen Versuchen mit engeren Windungen, eine Glasröhre von einem Zoll im Durchmesser mit Stahldraht umwunden, vermittelst zweier durchbohrter Körke in den Enden derselben eine engere Glasröhre in dieselbe geschoben, und in dieser einen Kupferdraht in der Axe der ersteren ausgespannt, durch welche 5 Batteriefunken geleitet wurden, deren jeder einen 1,5 F. langen stählernen Clavierdraht von No. 12 zu schmelzen vermochte, ohne daſs dadurch Magnetismus im Stahldrahte erzeugt wurde. Wäre aber der elektrische Leitungsdraht selbst ein Transversalmagnet, so müſste er auf diese Weise eben so gut Transversalmagnetismus erzeugen, als wenn er über oder unter den Stahldrahtwindungen hingeführt wird, und eigentlich noch wohl stärker.

2. Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus.

Berzelius[1] äuſserte zuerst beiläufig, der elektrische Strom scheine ihm in einem schmalen Streifen-Stanniol an jeder Seite desselben zwei über einander liegende ungleiche magnetische Pole zu erzeugen, und auch H. Davy[2] hegte anfänglich diese Meinung. Nicht sowohl hierdurch bewogen, als vielmehr durch die Beobachtung des oben (III. C. 2.) beschriebenen beweglichen Apparates, bei welchem unter andern der lothrecht herabgehende elektrische Leiter durch einen, in einer horizontalen Ebene von der einen Seite genäherten Magnetpol angezogen, von der andern abgestoſsen wird, und wobei die gegenüberstehende Seite des elektrischen Leiters sich gerade entgegengesetzt verhält, wurde v. Althaus[3] veranlaſst, in die Peripherie des elektromagnetischen Leiters vier polare Puncte zu setzen, und zwar zwei nordpolare einander diametral gegenüber dahin, wo der Draht Abstoſsung gegen den Nordpol des Magnetes zeigte, und zwei südpolare gleichfalls einander diametral gegenüber dahin, wo der Südpol zurückgestoſsen wurde. Von Althaus,

---

1 Ann. Chim. Phys. XVI. 117. Schweigg. XXXI. 100.

2 Journ. de Phys. XCIV. 77. Vergl. G. LXXI. 235.

3 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelberg, 1821. 8.

in der Kunst des Experimentirens durch seine Bekanntschaft mit dem zu frühe verstorbenen Boeckmann trefflich geübt, erklärte aus dieser Hypothese sehr scharfsinnig die Einwirkung des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel, die Wirkung der Spiralscheiben, der schraubenförmig gewundenen Drähte, die Bewegungen eines gebogenen frei schwebenden Leitungsdrahtes durch einen genäherten Magnet, insbesondere aber die damals eben bekannt gewordene Erscheinung der Anziehung zweier beweglicher elektrischer Leiter durch einander bei gleichgerichteter Strömung, und der Abstofsung bei entgegengesetzter. Es mufste nothwendig auffallen, dafs dieses Phänomen, dessen Erklärung damals Ampère wegen des darin liegenden Widerspruches gegen die bekannten elektrischen Gesetze so sehr beschäftigte, aus der Hypothese der tetrapolaren magnetischen Linien unmittelbar und nothwendig folge, wie schon der Augenschein lehrt, wenn man nur die Durchschnitte von zwei solchen Leitern a und b über einander zeichnet. Fig. 127.

Als ich selbst diese Theorie genau und sorgfältig prüfte, war es mir auffallend, dafs sich nirgend am Umfange des elektromagnetischen Leiters eine Anziehung und Abstofsung der beiden Pole auch der feinsten Nadeln mit Sicherheit zeigen wollte, obgleich zuweilen ein Festhängen der Magnetnadelspitze an einigen Stellen desselben zum Vorschein zu kommen schien. Aus diesem Grunde glaubte ich diese Hypothese verlassen zu müssen, als ich das oben erwähnte Gesetz auffand, wodurch allerdings eine Hauptschwierigkeit gehoben wurde, indem hieraus hervorging, warum keine einzige der polaren Linien, ihres wirklichen Daseyns ungeachtet, durch die Spitze einer Magnetnadel sichtbar werden konnte. Hiernach suchte ich also die elektromagnetischen Erscheinungen dadurch zu erklären, dafs ich annahm, jeder elektromagnetische Leiter sey ein tetrapolarer Transversalmagnet, dessen Querschnitt a einen Kreis mit vier Polen bilde, und zwar, bei einer elektrischen Strömung von N. nach S., unten östlich und oben westlich einen Nordpol, unten westlich und oben östlich einen Südpol[1]. Diese Hypothese empfiehlt sich hauptsächlich dadurch, dafs sie das entge- Fig. 128.

---

1 G. LXX. 141. LXXII. 20. In den dortigen Figuren findet sich eine Verwechslung der elektrischen Strömung, wie Pfaff richtig erinnert. S. der Elektrom. S. 266.

gengesetzte Verhalten der Magnetnadel über und unter, desgleichen zu beiden Seiten des elektrischen Leiters, so wie auch die wechselseitigen Einwirkungen zweier solcher elektromagnetischer Drähte auf einander recht gut darstellt, endlich auch bei der Annahme von zwei entgegengesetzten elektrischen Strömungen einer jeden derselben ähnliche, aber entgegengesetzte Wirkungen rücksichtlich der Hervorrufung des Magnetismus beilegt; allein vor einer genauen Prüfung besteht auch diese nicht.

Einige Gelehrte, namentlich RASCHIG[1], KRIES[2], GILBERT[3] u. a. haben gleich anfangs Einwendungen gegen dieselbe gemacht, deren einige sich zwar beseitigen lassen, z. B. dafs man vermittelst einer Zusammensetzung von vier Stahlmagneten den Querschnitt eines elektromagnetischen Drahtes nicht künstlich nachbilden kann (wobei aber die Pole nicht vom Mittelpuncte ausgehen), ferner dafs Eisenfeilicht sich im ganzen Umfange des elektrischen Leiters anlegt (wovon die Nothwendigkeit übrigens schon oben bei der Prüfung des bipolaren Transversalmagnetismus nachgewiesen ist), endlich dafs die stets sich gleich bleibenden Abweichungen der Magnetnadel noch in so grofsen Entfernungen vom lothrechten elektromagnetischen Leiter statt finden (indefs mufs die gleichzeitige Einwirkung aller vier polaren Linien sich eben so weit hin erstrecken, als die magnetische Kraft überhaupt reicht, wonach also die einmal statt findende Wirkung in jeder Entfernung *der Art nach* die nämliche bleibt, bis sie abnehmend überhaupt verschwindet). Folgende Argumente scheinen mir aber nicht füglich einer Beseitigung fähig zu seyn.

1. Die Theorie ist in einem Hauptpuncte unvollständig. Zugegeben nämlich, dafs das Umlaufen eines Magnetpoles um den ganzen Umfang des elektrischen Leiters, selbst auch mit gleicher Stärke, durch Benutzung des oben angegebenen Gesetzes erklärt werden könnte, so ist kein genügender Grund beigebracht, warum diese Bewegung stets nur nach *einer* Richtung erfolgt, indem sie eben so gut auch nach der entgegengesetzten erfolgen kann. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur die Nadel in die Richtung der zwei gleichen Pole brin-

1 G. LXXI. 39.
2 Ebend. p. 58.
3 Ebend. p. 64.

gen, wobei sich bald ergiebt, daſs sie dann eben so gut nach der einen als nach der andern Seite abweichen könnte. Es lieſse sich zwar diesem Argumente mit einer nicht schwierigen Voraussetzung begegnen, allein man muſs nicht stets zu neuen Hypothesen seine Zuflucht nehmen, um die alten zu retten.

2. Seebeck's und Davy's oben (III. B. 5.) angegebene Versuche über die Magnetisirung der Stahlnadeln um die ganze Oberfläche des elektromagnetischen Leitungsdrahtes so, daſs der Nordpol und Südpol derselben stets nach einer Seite hin liegt, stehen mit dieser Hypothese im Widerspruche[1].

3. Die Wirkungen der schrauben- und spiral-förmigen Windungen, so bestimmt, mindestens die ersteren, aus der Hypothese des bipolaren Transversalmagnetismus folgen, sind mit der Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus entweder völlig unverträglich, oder auf allen Fall nicht gut vereinbar. Zwar hat von Althaus versucht, diese Erscheinung zu erklären, indem er annimmt, daſs bei einem schraubenförmig umschlungenen Cylinder a b die nordpolaren Magnetismen $\alpha, \alpha, \alpha \ldots\ldots \alpha', \alpha', \alpha' \ldots$ sich nach a hin unten vereinigen, wodurch dann ein Nordpol in der Richtung $\alpha\beta$ entstehen müsse, nach Auſsen aber zerstreuen; daſs dagegen die südpolaren Magnetismen $\beta, \beta, \beta, \ldots\ldots \beta', \beta', \beta', \ldots\ldots$ sich nach der entgegengesetzten Seite nach b hin vereinigen, wodurch dann in β ein Südpol entstände, nach Auſsen aber auch diese sich zerstreuen. Hiernach müſste dann von b aus nach Auſsen sich nordpolarer, und von a aus gleichfalls nach Auſsen südpolarer Magnetismus zeigen, welchen von Althaus auch wahrgenommen haben will, obgleich dieses weder mit meinen eigenen Beobachtungen, noch auch namentlich mit denen von G. G. Schmidt[2] übereinstimmt.

Fig. 129.

4. Auch nach dieser Hypothese ist nicht erklärlich, warum ein mitten durch ein Stahldrahtgewinde gehender elektrischer Flaschenschlag keinen Magnetismus erzeugt, indem hierdurch nothwendig auf gleiche Weise ein tetrapolarer Magnet entstehen müſste, als nach der Schmidt'schen Theorie ein bipolarer.

5. Endlich könnte man der Theorie noch einen Mangel an innerer Bündigkeit entgegensetzen, indem die durch sie erklärten elektromagnetischen Erscheinungen eben so gut auch dann

1 Vergl. Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 267.

2 G. LXXII. 3.

folgen, wenn man 6, 8.... überhaupt 2 n polare Linien am elektromagnetischen Leiter annimmt.

8. Prechtl's Theorie.

Da es hier nicht darauf ankommt, die Vorstellungen Prechtl's von dem Wesen des Magnetismus und der Elektricität überhaupt zu erörtern, und die Meinung desselben von der Identität beider ohnehin oben im Wesentlichen schon geprüft ist, hier dagegen zunächst nur diejenige Theorie zur Untersuchung kommen kann, woraus derselbe die Wirkungen des elektromagnetischen Leiters erklärt, so läfst sich dieses aus seinen Abhandlungen[1] hierüber mit wenigen Worten herausheben. Jeder elektromagnetische Leiter ist nach ihm ein Transversalmagnet, dessen polare Linien der Zahl seiner Seiten correspondiren. Ueber den Fall, dafs dieser Leiter aus einem dreiseitigen Prisma bestände, finde ich nichts besonders erwähnt, die übrigen Formen aber, deren Querschnitte reguläre Figuren bilden, sind sämmtlich berücksichtigt. Ist demnach der Leiter der Elektricität ein viereckiger Stab, so drückt die Zeichnung eines Querschnittes desselben sowohl die Lage der polaren Linien als auch die Richtung der Magnetnadel um denselben aus[2]. Eben dieses ist der Fall für ein sechsseitiges Prisma, bei welchem also die magnetischen Richtungen je zweier an einander liegender Seiten entgegengesetzt seyn sollen. Minder nicht gilt dieses für Vielecke von gleicher Seitenzahl; ist aber die letztere ungleich, so stellt sich in der Magnetisirung die Gleichheit dadurch her, dafs zwei an einander liegende Seiten sich in der nämlichen Richtung magnetisiren, denn die Gleichheit der Seiten hat hier keinen Einflufs. Nimmt man zum Schliefsungsdrahte z. B. ein zwölfseitiges Prisma von unendlich kleinem Durchmesser, oder was dasselbe ist, ein Prisma von endlichem Durchmesser und unendlich vielen Seitenflächen, d. h. einen Cylinder, so liegen hier die einzelnen Polaritäten sehr nahe an einander, und es vereinigt sich also auf eine Magnetnadel von endlicher Länge die Gesammtwirkung aller der Polaritäten, welche über dem Durchmesser desjenigen Quer-

Fig. 130.
Fig. 131.
Fig. 132.

1 G. LXVII. 259. LXVIII. 187. 203. Schweigg. Journ. XXXVI. 399.

2 Dafs die letztere unrichtig sey, eben wie bei der nächstfolgenden Figur, möge hier nur beiläufig bemerkt werden.

schnittes, mit dem die Magnetnadel parallel steht, befindlich sind. Nur auf eine unendlich kleine Magnetnadel würde die Elementarwirkung, wie beim Vielecke erfolgen.

Bei einem Schliefsungsdrahte, der ein Cylinder oder ein viereckiges Prisma ist, dessen Durchmesser gegen die Länge der Nadel, auf welche er wirkt, verschwindet, gehen also die magnetischen Polaritäten scheinbar nach einer und derselben Richtung, — scheinbar deswegen, weil diese Wirkung nicht die den einzelnen Seiten eines Vielecks zukommende, sondern die Gesammt-Wirkung derselben ist.

Gegen diese Theorie scheint mir einzuwenden, dafs sie unklar und in sich selbst nicht consequent ist. Entweder sind nämlich die Richtungen der Magnetismen bei den verschiedengestalteten Leitern in der Wirklichkeit genau so, wie sie in den Zeichnungen ausgedrückt sind, so widerspricht dieses der Erfahrung, indem bekanntlich die Magnetnadel sich um runde und vierseitige Leiter, deren Durchmesser gegen den ihrigen keineswegs verschwindend sind, ganz auf gleiche Weise bewegt. Soll aber die Darstellung der Wirkungen vier- und vielseitiger Leiter blofs von solchen gelten, deren Durchmesser verschwindend sind, so mufs nachgewiesen werden, auf welche Weise aus diesen diejenigen mit mefsbarem Durchmesser entstehen, um welche die Nadelspitze sich im Kreise bewegt. In dem Querschnitte des runden Leiters sind zwar, um dieses Phänomen zu erklären, die Richtungen der Magnetismen alle nach einer Seite hin gezeichnet, es ist aber nicht nachgewiesen, warum die dazwischen liegenden, diesen entgegengesetzten, fehlen. Will man hierauf erwiedern, dafs sie einander zu nahe liegen, so bleibt die Frage unbeantwortet, warum die andern, gleichfalls entgegengesetzten, Pole weiter von einander abstehen. Ist endlich die Zahl der ungleichnamigen Pole wirklich unendlich, so fallen sie überall zusammen, müssen sich neutralisiren, und es ist gar kein Effect möglich.

Fig. 132.

So lange diese, das Ganze treffenden Einwürfe nicht beseitigt sind, scheint es mir überflüssig, die Theorie an einzelnen Erscheinungen zu prüfen. Prechtl hat zwar zu zeigen gesucht, in wie fern aus der Lage der ungleichnamigen Pole in den Transversalmagneten das Umlaufen der Nadelspitze um den

galvanischen Leiter folge[1], allein hierdurch werden die eben nachgewiesenen Gegengründe keineswegs beseitigt, und zunächst trifft jede Hypothese dieser Art der Einwurf, dafs sie keinen nothwendigen Grund nachzuweisen vermag, warum das Umkreisen stets nur nach ein und derselben Seite hin statt findet.

4. Seebeck's Theorie.

Seebeck hat in seiner mehrmals erwähnten Abhandlung[2] die Lehre vom Elektromagnetismus gleich nach der Auffindung des ersten Hauptphänomen's durch eine grofse Zahl mannigfaltig abgeänderter, und sehr genauer Versuche fast zu demjenigen Grade der Ausbildung befördert, welchen sie bis jetzt überhaupt erhalten hat, und dabei zugleich eine Theorie derselben aufgestellt, welcher er auch nachher treu geblieben zu seyn scheint. Hiernach „giebt es am ganzen schliefsenden Drahte nirgend feste Pole oder einzelne Stellen, an welchen entweder positiver oder negativer Magnetismus im Uebermafse vorhanden wäre, nirgend einen feststehenden magnetischen Kern. Ein polarer magnetischer Gegensatz zweier entgegengesetzter Puncte am Schliefsungsdrahte, oder in dessen Atmosphäre ist also nur dadurch begründet, dafs die Richtung des durch die Action der Säule erregten Magnetismus entgegengesetzt, und + M. nach der einen, — M nach der andern Seite gerichtet ist. Jeder Punct in der cylindrischen magnetischen Atmosphäre, welche den Stab erfüllt und umgiebt, ist nordpolar und südpolar zugleich, nach der einen Seite zu nordpolar, nach der andern südpolar, so dafs also auch alle, von der Axe des Stabes ausgehende Radien in der senkrecht auf den Längendurchmesser des schliessenden Drahtes stehenden Ebene, nach der einen Seite zu als nordpolar, nach der andern als südpolar anzusehen sind, und zwar in gleichmäfsig wechselnder Folge, indem der nordpolare Magnetismus des einen Radius dem südpolaren des andern zugekehrt ist."

Die hier in ihren wesentlichen Theilen mit den eigenen Worten des berühmten Gelehrten wiedergegebene Theorie ist durchaus klar und bestimmt. Weit weniger scheint mir dieses

1 Kastner's Archiv II. 155.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 335 ff.

bei denjenigen weiteren Aeufserungen der Fall zu seyn, worin derselbe den Unterschied zwischen einem Stahlmagnete und dem elektromagnetischen Drahte zu erläutern, und die Vertheilung des Magnetismus im Stahle nebst der hieraus folgenden Wirkungsart der Stahlmagnete aufzuklären sucht. Das Letztere gehört an sich nicht hierher, die Hauptäufserung über das Erstere aber theile ich gleichfalls um so lieber mit Seebeck's eigenen Worten mit, weil sie mir selbst nicht völlig deutlich geworden ist, übrigens aber in der Hauptsache nichts abzuändern scheint. „Der Magnetismus im Eisen und Stahle unterscheidet sich also darin vom Magnetismus in der Galvanischen Kette, dafs die den diametral einander gegenüberliegenden Puncten des Stahlmagnetes zugehörenden inneren Theile der magnetischen Atmosphäre in einander greifen, und in dem Metalle so innig verbunden sind, dafs sie auf keine Weise von einander getrennt werden können, indem die Axe der ganzen, den Stab erfüllenden und umgebenden magnetischen Atmosphäre, als ein mitten zwischen den Polen an der Oberfläche des massiven cylindrischen Magnetstabes liegender Kreis angenommen werden mufs. In der galvanischen Kette dagegen können nicht nur die einander diametral gegenüber liegenden Theile der einfachen magnetischen Atmosphäre der Leiter bis zu jedem beliebigen Abstande von einander entfernt werden, wodurch sie um so vollkommener in dieser, vor der Entdeckung Oersted's gänzlich unbekannten, einfachen Form hervortreten, sondern es wird sogar aller Magnetismus der Galvanischen Kette aufgehoben, wenn die einander diametral entgegengesetzten Theile der magnetischen Atmosphäre bei völliger Berührung der Metalle auf gleiche Art in einander greifen, als in den Stahlmagneten."

Verstehe ich die Ausdrücke recht, so sind die entgegengesetzten Magnetismen im Stahle durch einander gebunden, so dafs die Polarität nur an den Enden der Stäbe in gröfster Stärke hervortritt und in der Mitte bis zur Indifferenz verschwindet, statt dafs dieselben am elektromagnetischen Leiter an allen Puncten zum Vorschein kommen, dann aber verschwinden und zur Bildung eines gleichfalls bipolaren Magnetes sich vereinigen, wenn die Drähte mit einander in Berührung kommen.

Dafs auch diese Theorie den Anforderungen an eine solche nicht genüge, läfst sich bald zeigen, indem sie in sich entweder unmöglich oder unbestimmt ist, und bei erhaltener Bestim-

mung die Erscheinungen selbst gar nicht erklärt. Nach den Ausdrücken Seebeck's ist die den elektromagnetischen Cylinder bildende Zahl der Radien mit entgegenstehenden Magnetismen an ihren Seiten unendlich. Wäre dieses im strengsten Sinne der Fall, so würde gar keine Wirkung möglich seyn, indem jeder Punct in einer auf den Schliefsungsdraht senkrechten Ebene zugleich nordpolarisch und südpolarisch seyn müfste, deren Wirkungen auf die Spitze einer Magnetnadel von mefsbar räumlichem Inhalte sich um so sicherer aufheben würden, als der Thesis nach auf jeden räumlichen Punct in der Spitze der Magnetnadel eine unendliche Menge nordpolarer und südpolarer Puncte im magnetischen Cylinder um den Leitungsdraht einwirken müfsten. Wir wollen indefs annehmen, die Zahl der nord- und süd-polaren Puncte sey eine unendliche, so giebt es im Umfange des elektrischen Leiters für eine mit ihrer Axe lothrecht auf die Axe des Leiters gerichtete Magnetnadel so viele Puncte, in welchen dieselbe auf einen gleichnamigen Pol senkrecht gerichtet ist, dessen seitwärts bewegende Kraft also verschwindet, zugleich aber sich in gleichem Abstande von zwei ungleichnamigen Polen befindet, deren Wirkungen sich sonach gleichfalls aufheben, als wie viele Paare von Polen den Leiter umgeben. Obgleich daher mit der Zahl der Paare dieser Pole die Menge der Lagen wächst, in denen die Nadelspitze zwischen zwei ungleichen Polen befindlich nach den Gesetzen der magnetischen Wirksamkeit eine Abweichung erhalten mufs, so wächst hiermit auch zugleich die Zahl der Indifferenzpuncte, und man kommt also mit zwei polaren Linien oder mit vieren eben so weit, als mit einer beliebigen endlichen Zahl Paare ungleichnamig magnetischer Puncte, indem auch bei diesen endlich die Richtung des Umlaufens der Nadelspitze um den elektrischen Leiter unbestimmt bleibt. Es finden somit gegen diese Theorie die nämlichen Einwendungen statt, welche mich bewogen haben, die von mir selbst früher vertheidigte Theorie aufzugeben.

5. Pohl's Theorie der Circularpolarität.

G. F. Pohl suchte anfangs[1] die elektromagnetischen Erscheinungen am Schliefsungsdrahte der Volta'schen Säule da-

1 G. LXIX. 191.

durch zu erklären, daſs er jede Querzone eines solchen Leiters für eine in sich selbst zurücklaufende Magnetnadel hielt. Später[1] ging derselbe ganz zu SEEBECK's Ansicht über, indem er den zuerst aufgestellten Satz dahin modificirte, die beiden genäherten Pole der in einen Kreis zusammengebogenen Magnetnadel gingen durch ihre unmittelbare Berührung in einander über, und verbreiteten sich als zwei neben einander liegende Pole über den ganzen Umfang der kreisförmig zusammengebogenen Nadel (mit Verschwindung des sonst nothwendigen Indifferenzpunctes in ihrer Mitte). Hiernach soll dann *jeder Punct des Schlieſsungsdrahtes als Nord- und Süd-Pol zugleich wirken, nur nach tangential-entgegengesetzten und durch die Verbindungs-Ordnung bestimmten Richtungen.*

In dieser Modification hört das Ganze aber auf eine Theorie zu seyn, indem bloſs das ursprüngliche Oersted'sche Phänomen mit einem andern Ausdrucke bezeichnet wird, und anstatt zu sagen, die Spitze der Magnetnadel läuft um den elektromagnetischen Leiter im Kreise umher, (welches der Natur der Sache nach nothwendig durch Tangential-Kräfte bewirkt werden muſs) sagt POHL: sie wird von jedem Puncte desselben durch eine von diesem ausgehende Tangentialkraft herumgetrieben. Nach SEEBECK liegt in jedem Puncte nach der einen Seite nordpolarer, nach der andern südpolarer Magnetismus, nach POHL aber wirkt jeder einzelne Punct nach der einen Seite nordpolarisch, nach der andern südpolarisch magnetisch abstoſsend. Die von ihm in den Figuren zur Erläuterung gezeichneten Magnetnadeln können daher keinen wirklichen Abstand der Pole, wäre er auch nur verschwindend klein, andeuten, sondern bloſs die Richtung der Tangentialkräfte bezeichnen. Daſs aber irgend ein materieller Punct zugleich ein nordpolarer und ein südpolarer Magnet *seyn* sollte, also ein Gegebenes und auch sein Entgegengesetztes, ein + und zugleich ein —, ist undenkbar, mithin kann einem jeden Puncte nur eine nach einer Seite wirkende nordpolar magnetische Kraft, und nach der andern eine südpolare beigelegt werden, wodurch nach dem Begriff des Entgegengesetzten der Punct selbst = 0 seyn würde[2]. Will man

---

1 G. LXXI. 47. Vergl. LXXIII. 259.

2 POHL giebt dieses selbst zu, indem er bei G. LXXIV. 391. sagt: „Einen N. u. S. Pol giebt es hier also gar nicht, oder man

es nun auch nicht geradezu für undenkbar halten, daſs von dem eigentlichen 0 aus (einem geometrischen, nicht einem räumlichen Puncte) ohne ausgedehntes, materielles Substratum, zwei entgegengesetzte Kräfte nach entgegengesetzten Seiten hin wirkend ausgehen sollen, so bietet wenigstens die Natur kein Analogon dar. Es läſst sich hierfür nicht geltend machen, daſs nach Coulomb jedes kleinste Stück eines Magnetes wieder ein Magnet mit zwei Polen sey, denn mit solchen durch Versuche erhaltenen Stücken sind wir noch weit von einem Stahlatome, geschweige denn von einem geometrischen Puncte entfernt. Nur dann also, wenn Pohl räumliche magnetische Pole, und zwar entgegengesetzte, nach der einen Seite nordpolarische, nach der andern südpolarische in der Oberfläche des galvanischen Leiters annimmt, giebt er eine Theorie, welche der von Seebeck aufgestellten gleich ist, und daher gleichen Gegengründen unterliegt.

Insofern übrigens Pohl das elektromagnetische Hauptphänomen bloſs genau bezeichnet hat, ohne jedoch durch eine Theorie die Aetiologie desselben nachzuweisen, und wenn man sonach seine Bezeichnungen und Figuren als ein Mittel der Versinnlichung betrachtet, so muſs man zugestehen, daſs er hiernach die wesentlichsten, aus demselben folgenden Erscheinungen mit groſser Consequenz erklärt hat. Letzteres ist in der angegebenen Abhandlung nur kurz, ausführlicher aber in den

müſste uneigentlicher Weise jeden Punct als N. u. S. Pol zugleich ansehen, und mithin deren unendlich viele annehmen, welches physicalisch ganz in demselben widerspruchslosen Sinne zu fassen ist, in welchem man in der Mathematik den Kreis als ein Polygon von unendlich vielen geraden Seiten betrachtet. Man wird indeſs zugestehen, daſs durch das letztere Hülfsmittel nur die Vorstellung eines Kreises selbst erleichtert, und diese sinnlich darstellbarer wird. Strenge genommen ist aber kein Theil des Kreises, auch nicht der kleinste endliche eine gerade Linie, und mit derselben Strenge ist nach Pohl kein Punct des elektrischen Leiters weder ein N. noch ein S. Pol, auch kann weder nord- noch südpolarer Magnetismus an irgend einen materiellen Punct gebunden seyn, indem dieser sonst hierdurch ein solcher Pol werden müſste, mithin bleibt an und um den Leiter bloſs die, die Magnetnadel bewegende, Kraft, deren Wesen und Ursprung nicht weiter erklärt, auf welche vielmehr bloſs aus der Beobachtung geschlossen wird. Insofern glaube ich es also rechtfertigen zu können, daſs dieses keine Theorie, sondern bloſs eine Construction der Erscheinungen ist.

Demonstrationen geschehen[1], vermittelst deren die Bewegung der beweglichen Leiter durch den Einfluſs des Erdmagnetismus nachgewiesen wird, und welche in sofern ein höchst schätzbarer Beitrag zur Lehre des Elektromagnetismus bleiben, als in ihnen mit geometrischer Schärfe dargethan wird, daſs und auf welche Weise alle diese Bewegungen aus dem einfachen elektromagnetischen Fundamentalversuche folgen.

6. Theorie des diagonaloiden Magnetismus.

Gleich nach der Entdeckung des Elektromagnetismus beförderte Erman nicht bloſs die Verbreitung der Kenntniss desselben, sondern vermehrte auch die damals bekannten Thatsachen und Apparate auf eine sinnreiche Weise[2]. Weil man aber eine Reihe zusammenhängender Erscheinungen nicht gut aufzufassen vermag, ohne sie in einen inneren Zusammenhang unter sich und mit andern bekannten Phänomenen zu bringen, so war es natürlich, daſs auch dieser scharfsinnige Gelehrte eine Theorie entwarf, nach welcher sich die damals bekannten Thatsachen erklären lieſsen. In Gemäſsheit der Hypothese von zwei Elektricitäten, deren jede an dem ihr zugewandten Ende des Leiters in gröſster Fülle einströmen muſs, nahm er an, daſs hiernach in diesem ein *diagonaloider Transversalmagnetismus* erregt werde, wonach im Wesentlichen an der einen Seite des diagonal getheilten Leiters AB nordpolarer, an der andern CD
Fig. 133. südpolarer Magnetismus vorherrschend seyn sollte. Indeſs waren damals bei weitem noch nicht alle Thatsachen bekannt, denen auch deswegen die Hypothese nicht genügt, und da der Erfinder derselben sie später nicht weiter auszubilden gesucht hat, so wird diese allgemeine geschichtliche Erwähnung derselben genügen[3].

F. Rückblick auf die verschiedenen Theorieen.

Ueberblicken wir nun noch einmal die verschiedenen Theorieen über den Elektromagnetismus, so können wir nicht gut

---

1 G. LXXIV. 391 ff. LXXV. 269.

2 In seiner mehrerwähnten Schrift: Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus u. s. w. Berl. 1821. 8.

3 Vergl. Gilbert in Annal. d. Phys. LXVII. 382. ff.

umhin, mit Davy zu gestehen, dafs wir bis jetzt noch keine einzige völlig genügende haben, und es vielleicht überhaupt noch zu frühe ist, ernstlich an eine solche zu denken, weil die Kenntnifs der Naturgesetze im Allgemeinen, und der zur Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen im Besondern noch zu sehr in ihrer Kindheit ist[1]. Vergleicht man indefs die hier, so viel ich mir bewufst bin, mit gröfster Unparteilichkeit dargestellten Theorieen mit einander, so wird, wie mich dünkt, der Unbefangene der vom *Transversalmagnetismus* den Vorzug zugestehen. Durch Transversalmagnete hat man die hauptsächlichsten Phänomene, welche der einfache elektrische Leitungsdraht darbietet, am vollständigsten nachgebildet, und liefse sich die analoge Beschaffenheit beider mit Sicherheit nachweisen, so würde man den Elektromagnetismus als einen Zweig der allgemeinen magnetischen Erscheinungen diesen anreihen können. Dabei bleibt aber die Frage noch zu erörtern, *wie viele Pole oder Paare von Polen* im Umfange des elektrischen Leiters anzunehmen sind? Die Beantwortung dieser Frage, wozu mir Pohl's oben (III. C. 18) erwähnter Apparat vorzüglich geeignet scheint, liegt vor der Hand noch scheinbar sehr weit entfernt, um so mehr als die angestellte Untersuchung ergeben hat, dafs weder zwei noch eine beliebig grofse Menge der Aufgabe ein Genüge leisten. Wann und ob überhaupt man hierüber zur Gewifsheit gelangen werde, läfst sich um so weniger bestimmen, wenn man berücksichtigt, dafs in einem so langen Zeitraume die Frage über das Vorhandenseyn einer oder zweier Elektricitäten nicht zur definitiven Entscheidung gebracht werden konnte. Ist es mir indefs erlaubt, einige Hypothesen aufzustellen, nachdem ich den Gegenstand nach allen seinen Seiten in der vorstehenden Abhandlung genau prüfen mufste, so sind dieses folgende.

Wer sich mit gegründeter Hoffnung eines glücklichen Erfolgs diesen Untersuchungen widmen will, der mufs vor allen Dingen die individuelle Wirkungsart der Elektricität und des Magnetismus, welche in diesen Erscheinungen auf eine so höchst räthselhafte Weise verschlungen sind, scharf ins Auge fassen. Hiernach scheint es mir, als ob die Annahme der Existenz fe-

1 Vergl. Davy in Phil. Trans. 1824. 1. Ann. of Phil. 1824. Jan. p. 22. Schweigg. J. XL. 332.

ster, gleichsam starrer polarer Linien (oder Puncte, welches am Ende auf eins hinausläuft) um den elektrischen Leiter nicht zum Ziele führt. Das Verhalten der Sache scheint mir vielmehr folgendes.

1. Die Elektricität durchströmt den vollkommenen und unvollkommenen Leiter nicht als ein Continuum, sondern in einzelnen Pulsen, welche aber in unmeſsbar kurzen Zeiträumen auf einander folgen. Diese Pulsus oder Wellen sind am merkbarsten bei der galvanischen Elektricität, und offenbaren sich den Nerven in dem simmernartigen Gefühle, welches dieselbe im thierischen Körper erregt.

2. Jede einzelne hierzu hinreichend starke Welle trennt in dem Leiter, und vermittelst dessen vielleicht auch in dessen Umgebung, den überall die Erde als eigene Atmosphäre umgebenden, und somit überall vorhandenen neutralen Magnetismus in seine beiden antipolaren Theile auf ähnliche Weise, als eine mechanische Erschütterung diese Trennung im Stahle bewirkt. Die langsamere Durchströmung stark gespannter Reibungselektricität, wenn sie durch Spitzen eingesogen ist, kann daher keine solche Pulsus ausüben, und also auch keinen Magnetismus erzeugen; ihr entgegen steht mit der heftigsten, aber auch am kürzesten dauernden Wirkung der Flaschenschlag, welcher eben diese auch durch die erregte Empfindung ankündigt, in der Mitte zwischen beiden liegt die galvanische Elektricität.

Hier scheint es mir der schicklichste Ort zu seyn, die Frage, warum das *langsame Durchströmen der Elektricität in den Leitungsdrähten keinen Magnetismus erzeugt*, nochmals näher zu prüfen. Wären zuvörderst Elektricität und Magnetismus identisch, so wäre diese gänzliche Unwirksamkeit des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel durchaus unerklärbar, da sich nach den Versuchen von Pfaff (III. A. 13) in dem Leitungsdrahte eine solche Menge freier Elektricität befindet, daſs der genäherte Finger merkbare Funken erhält. Vermöge der Annahme einer Identität beider Potenzen würde man also die Anwesenheit der Elektricität = Magnetismus in einem solchen Leiter zugleich setzen und auch wieder aufheben, was doch ein offenbarer Widerspruch ist, und als solcher mir das gewichtigste Argument gegen diese Hypothese zu seyn scheint[1]. Pfaff

1 Vergl. oben IV. i. A.

leitet dieses Ausbleiben der magnetischen Wirkungen von der zu großen Spannung der Elektricität ab, allein hiergegen streitet die Erzeugung des Magnetismus durch den energischen Funken, durch den Flaschenschlag und insbesondere durch den Blitz, worin doch eine ungleich stärkere Spannung der Elektricität anzunehmen ist. Mir scheint der Grund hiervon vielmehr in Folgendem zu liegen. Es ist oben[1] bewiesen, daſs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet, und nicht in das Innere derselben eindringt. Hiergegen streiten aber die oben (II. C. a) erwähnten Versuche Davy's, nach denen die *Masse* und nicht die *Oberfläche* der Metalle ihr Leitungsvermögen bedingt, die Anwendung der medicinischen Elektricität, das Schmelzen sehr dicker Drähte durch den Blitz u. a. m. Sollen diese beiderlei widersprechenden Erscheinungen, und zugleich auch diejenigen, welche sich rücksichtlich der Erzeugung des Elektromagnetismus herausstellen, vereinigt werden, so müssen wir annehmen, daſs die *eigentlich strömende*, in den angegebenen Pulsationen fortschreitende Elektricität durch ihre unwiderstehliche Kraft allerdings die Massen der Körper durchdringt, die widerstrebenden Hindernisse überwältigt, und hierbei zugleich den Magnetimus scheidet. Sofern sie dagegen sich langsamer bewegt, und einseitig als + oder — E. angehäuft nach Neutralisation mit dem Entgegengesetzten strebt, somit auch Anziehung und Abstoſsung bewirkt, wird sie eben durch dieses Streben nach Ausgleichung auf der Oberfläche der Körper angehäuft, und trennt die Magnetismen nicht. Kein geladener Conductor kann daher magnetisch seyn, auch keine trockne Säule die Magnetnadel afficiren, die stark gespannte, nach Neutralisation strebende Elektricität scheidet weder Wärme noch Licht aus, sondern dieses alles geschieht bloſs durch die strömende, und hiernach pulsirende, in welchem Zustande die galvanische allein auftritt, weil in jedem Elemente des Leiters die Ausgleichung beider Elektricitäten statt findet.

3. Die Trennung der ungleichen, im Zustande der Neutralität gebundenen, Magnetismen ist der Erzeugung der Elektricität, oder eigentlicher der Aufhebung des gewöhnlich bestehenden elektrischen Gleichgewichts ähnlich. So wie durch Reibung, Mittheilung, den Wirkungskreis, Erwärmung u. s. w. ins-

---

1 S. Elektricität IV.

besondere aber durch einen auf Affinitätsgesetze oder wechselseitige Wahlanziehung gleichsam zurückkommenden Einfluſs heterogener Metalle auf einander beide Elektricitäten geschieden werden, so geschieht dieses nämliche durch ähnliche Ursachen beim Magnetismus, die Trennung erhält sich bei beiden bleibend nur in den Nichtleitern, wobei rücksichtlich der Form der letzteren die Elektricität gröſsere Flächen, der Magnetismus längere Stäbe vorzieht.

4. Die Scheidung der Magnetismen durch die Elektricität geschieht (als Beweis der Einfachheit aller Naturgesetze) auf eine ähnliche Weise, als die Erregung der Wärme durch Elektricität, und dieser wieder durch jene, als die Hervorrufung des Lichtes durch Wärme, der Wärme durch Licht, und wenn bei der Elektricität und dem Magnetismus keine Reciprocität rücksichtlich der wechselseitigen Hervorrufung bemerkt wird, so liegt die Ursache hiervon darin, daſs wir den Magnetismus in bedeutender Stärke im Zustande der Trennung nur an die Isolatoren gebunden besitzen, welche derselbe nicht verläſst, wenn auch die entgegengesetzten Atmosphären beider Pole sich binden. Plötzliche Trennungen beider Magnetismen gehen bloſs im elektrischen Leiter vor, und vielleicht werden künftig einmal elektrische Wirkungen der so hervorgerufenen Magnetismen entdeckt werden, deren eigentliche Quelle dann aber sehr schwer zu bestimmen seyn dürfte.

5. Auf welche eigenthümliche Weise und nach welchem bestimmten Causalverhältniſs die Trennung beider Magnetismen durch die elektrischen Wellen geschehe, dieses kann nicht früher aufgefunden werden, als bis wir das Wesen der Elektricität selbst und des Magnetismus erkannt haben, wozu für jetzt noch keine bestimmte Hoffnung vorhanden ist. Rücksichtlich der Elektricität aber ergeben die Erscheinungen so viel, daſs dieselbe im Leiter den kürzesten Weg sucht, und daher, wie auch die Form desselben seyn mag, in der Richtung ihres Fortganges einen Cylinder bildet, um welchen die elektromagnetischen Wirkungen sich in der Hauptsache überall gleichartig zeigen.

6. Um diesen cylinderförmigen elektrischen Strom werden dann bei jedem Pulsus der Strömung die Magnetismen auf eine an sich unbekannte, bloſs aus der Wirkung ersichtliche Weise getrennt, so daſs die nordpolaren nach der einen, die südpola-

ren nach der andern momentan frei werden, und weil diese Pulsus einander der Zeit nach so nahe liegen, so scheint uns ihre Wirkung eine continuirliche. In wie vielen Sectoren des Querschnittes eines z. B. cylinderförmigen elektrischen Leiters die Trennung der Magnetismen erfolgt, oder mit andern Worten, wie viele ungleiche polare Linien bei jedem Pulsus entstehen, ob die Zahl derselben nach der Dicke des Leiters und der Stärke der Elektricität verschieden ist, diese Fragen lassen sich nicht beantworten, es ist sogar noch zu frühzeitig, hierüber nur einmal eine wahrscheinliche Hypothese zu versuchen, so lange eine Hauptfrage noch nicht völlig entschieden ist, nämlich ob wir in Gemäſsheit einer einzigen elektrischen Strömung nur eine einfache, oder in Folge einer zweifachen und entgegengesetzten eine doppelte Wirkung auf den Magnetismus anzunehmen haben, oder ob endlich in der Ausgleichung beider die momentane Erregung des Magnetismus zu suchen ist. Auf gleiche Weise mögte ich nicht darüber entscheiden, nach welcher Seite hierbei der nordpolare Magnetismus gerückt werde, indem dieses von der Ansicht abhängt, ob man den Nordpol der Nadel z. B. durch den nordpolaren Magnetismus zurückgestoſsen, oder im Strome desselben bei der plötzlichen Trennung mit fortgerissen werden läſst. Ohne den verschiedenen Vorstellungsarten jedes Einzelnen rücksichtlich dieser beiden Fragen vorgreifen zu wollen, indem diese Bemerkungen ohnehin, wie gesagt, keineswegs als eine vollständige Theorie anzusehen sind, bin ich doch in Ansehung der ersteren geneigt, mit Seebeck eine zwar nicht unendliche, aber doch eine sehr groſse Menge Trennungspuncte anzunehmen, schon deswegen, weil die Fortführung der getrennten Magnetismen durch einen verhältniſsmäſsig beträchtlichen Raum im Umfange des Leiters weder mit der Geschwindigkeit der einzeln erfolgenden Pulsus, noch mit der ruhigen und wirkungslosen Herstellung des Indifferenzzustandes übereinstimmt [1]. Hinsichtlich der letzteren mögte ich lieber im Widerspruche mit Pohl die Trennung so annehmen, daſs der nordpolare Magnetismus bei einer von N. nach S. gerichteten elektrischen Strömung von der unteren Fläche des Leiters an gerechnet, in der Richtung nach O. durch das Zenith nach W. und so zurück zu liegen käme, weil es mir na-

---

1 Hiergegen scheinen Pohl's Versuche (oben III. C. 18) zu streiten.

türlicher scheint anzunehmen, daſs die nordpolare Nadelspitze vermöge der erregten positiv magnetischen Tangentialkraft fortgerissen werde. Daſs hiermit den von jenem Gelehrten gelieferten Demonstrationen und Rechnungen kein Abbruch geschehe, versteht sich von selbst.

Eine Anwendung dieser Sätze auf die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zu machen, würde zweckwidrig seyn. Indeſs will ich doch bemerken, daſs einige schwer zu erklärende Erscheinungen hierdurch eine eben so unmittelbare als vollständige Aufhellung erhalten. Es ergiebt sich nämlich nach dieser Ansicht von selbst, warum die Magnetnadel unter dem Verbindungsdrahte der beiden Belegungen einer starken Flasche keine Bewegung erhält, ohngeachtet ein Stahldraht starke Polarität annimmt, weil nämlich der Pulsus schon vorüber, und der Zustand des Gleichgewichts wieder hergestellt ist, ehe die Trägheit der Nadel überwunden werden kann, wobei jedoch die Trennung der beiden Magnetismen, bei denen kein Trägheitsmoment zu überwinden ist, vollständig erfolgt. Die Rücksicht auf dieses Factum hat mich zu der Annahme vermogt, daſs der nordpolare Magnetismus durch den gleichnamigen mit fortgerissen werde, indem dieses mit der Schnelligkeit des Erfolgs mehr übereinstimmt als die Annahme, daſs der im Leiter erzeugte südpolare Magnetismus die entgegengesetzte Polarität hervorrufe, wozu mir mehr eine Art von Stillstand gehört, die ich nach dem Verhalten der Nadel weniger anzunehmen geneigt bin. Es folgt aus den Sätzen ferner direct, warum Stahlnadeln, quer auf den elektrischen Leiter befestigt, an jeder Stelle nach einer Seite nordpolar, nach der andern südpolar magnetisch werden, endlich aber warum der elektromagnetische Leiter oben, unten oder zur Seite eines um eine Glasröhre schraubenförmig gewundenen Stahldrahtes hingeführt, Transversalmagnetismus zu erregen vermag, in der Axe desselben aber ganz ohne Wirkung bleibt, weil nämlich dann die im ganzen Umfange getrennten Magnetismen augenblicklich wieder zur Indifferenz zusammentreten.

Wenn man diesemnach die Ungewiſsheit über die Zahl der Doppelpole, in welche der Magnetismus in der ganzen Peripherie des elektrischen Leiters bei jedem Pulsus der durchströmenden Elektricität sich trennend angenommen wird, als minder bedeutend betrachtet, die zweite Unbestimmtheit über

die Lage des nordpolaren und südpolaren Magnetismus gleichfalls übersieht, dann aber die von POHL angenommenen, aus der Natur der Sache folgenden tangentialen Richtungen der entgegengesetzten abstofsenden Kräfte als in der Sache nothwendig begründet betrachtet, diesen und den hierauf gebaueten Calcül desselben zur Erklärung des elektromagnetischen Hauptphänomens und aller übrigen aus diesem folgenden benutzt, so wäre hiermit allerdings eine vollständige und genügende Theorie des Elektromagnetismus gegeben[1]. *M.*

---

1 Aufser den, in der Abhandlung selbst namhaft gemachten Schriften können der Vollständigkeit wegen noch folgende, mit Uebergehung der Abschnitte über diesen Gegenstand in den neuesten Compendien der Naturlehre, genannt werden:

Dissertatio medico-physica de electromagnetismo cet. auct. C. SCHRADER Halae 1821. Auch in Schweigg. Journ. XXXIII. 1. AMPÈRE: Recueil d'Observations électrodymiques. Par. 1822. 8. K. F. BURDACH Berichte von d. Kön. anatom. Anstalt zu Königsberg. 5ter Ber. Leipz. 1822. KASTNER Observationes de electromagnetismo. Erl. 1821. 4. Saggio di esperienze elettrometriche del Dottore Stef. MARIANINI. Venez. 1825. 8. Recherches sur le Mode de distribution de l'Électricité dynamique dans les corps qui lui servent de conducteurs; par M. DE LA RIVE. Genève 1825. 8.

Physikalisches Wörterbuch

III. Band.

Zweite Abtheilung.

Elektrometer bis Ende E.

Elektrometer.

Elektricitätsmesser, Elektroskop; *Electrometrum;* Electromètre; *Electrometer.* Eine Vorrichtung, um die Stärke und Beschaffenheit der Elektrometrie eines Körpers zu bestimmen, oder die elektrischen Erscheinungen in einem verlangten Grade der Stärke hervorzubringen.

Die meisten Instrumente dieser Art verdienen mehr nur den Namen der *Elektroskope* als eigentlicher *Elektrometer*, sofern sie keine genaue quantitative Bestimmungen gewähren, sondern nur im Allgemeinen anzeigen, ob die E. stärker oder schwächer sey. Indeſs haben die Physiker sich doch in dem Verhältnisse, in welchem durch die fortschreitenden Entdeckungen auch in der Elektricitätslehre alle Bestimmungen sich mehr der mathematischen Schärfe näherten, gleichfalls mehr und mehr bemüht, auch diesen Instrumenten jene Vollkommenheit zu verschaffen, welche den Namen eigentlicher Maſse bei den Barometern, Thermometern, Hygrometern u. u. s. rechtfertigt. Eine solche Vervollkommnung war jedoch dadurch nur erreichbar, daſs einerseits die Wirkungsgesetze der el. Kräfte, welche gemessen werden sollten, mathematisch genau bestimmt wurden, andererseits die Wirkungen, durch welche diese Kräfte gemessen werden sollten, eine genau quantitative Bestimmung zulieſsen. Die Erfüllung dieser beiden Fundamentalbedingungen bil-

det demnach die Grundlage jeder wahren *Elektrometrie.* Ist eine solche gewonnen, so sind eben damit auch Elektrometer ausführbar, und zwar, wie dieses bei allen ächten Metern der Fall ist, vergleichbare, welche allenthalben dieselbe Sprache reden, und eine genaue Vergleichung der Beobachtungen der Physiker über die Stärke der E. unter den verschiedensten Umständen an allen Orten und zu allen Zeiten zulassen. Um in die Darstellung dieser wichtigen Lehre so viel Ordnung und Klarheit wie möglich zu bringen, wird es am angemessensten seyn, in diesem Artikel nur erst eine historische Aufzählung der verschiedenen Aenderungen, die mit diesen Instrumenten vorgenommen worden sind, und ihrer allmäligen Verbesserungen, und zugleich eine genauere, durch Abbildungen erläuterte, Beschreibung der brauchbarsten derselben zu liefern, und in dem folgenden Artikel: *Elektrometrie,* die Grundsätze zu erörtern, nach welchen der Werth und die Brauchbarkeit dieser verschiedenen Instrumente zu beurtheilen ist.

In Rücksicht auf die verschiedenen Zwecke, welchen diese Instrumente genügen sollen, lassen sie sich unter verschiedene Classen bringen. Bei einigen derselben ging nämlich das Haupt-Augenmerk der Erfinder mehr dahin, den Physikern ein Instrument in die Hände zu geben, durch welches sehr schwache Grade von E. noch erkennbar gemacht werden sollten, welche Gattung von Elektrometern daher auch von einigen mit dem Namen *Mikro-Elektrometer* belegt wurden, andere dagegen wurden gerade umgekehrt für die höheren Grade der E. eingerichtet, die man *Mega-Elektrometer* nennen könnte, noch andere wurden vorzüglich erdacht, um die Grade der verstärkten E. bei geladenen Flaschen und Batterieen genauer zu bestimmen, sogenannte *Ladungs-* oder *Ausladeelektrometer,* endlich wurden einige besonders für die Untersuchung der atmosphärischen E., sogenannte *Luftelektrometer* eingerichtet. Da jedoch einige Instrumente mehreren dieser Zwecke zugleich

entsprechen, so werde ich mich mehr an die Zeitfolge, in welcher diese verschiedenen Instrumente nach der Reihe in die physikalischen Apparate eingeführt wurden, halten, als eine strenge Absonderung nach diesen verschiedenen Zwecken beobachten.

Gray bemerkte zuerst, daſs Fäden, die an einer elektrisirten Stange hingen, sich zurückstieſsen und von einander flohen. Du Fay fand eben dieses, und zwar bei leinenen oder Zwirnsfäden am stärksten. Der Letztere benutzte seit dem Jahre 1733 dieses sehr einfache Mittel, zwei Fäden oder nur einen doppelt gespaltenen frei von einer Stange herabhängen zu lassen, um daran leicht zu erkennen, wie bald die Stange elektrisirt werde, und wie bald sie diese E. wieder verliere. Nollet, welcher bei diesen Versuchen zugegen war, sah wohl ein, daſs man von dieser Entfernung der Fäden mehr Vortheil ziehen, und aus der Gröſse ihres Winkels oder ihrer Divergenz auf den Grad ihrer E. schlieſsen könne. Weil man aber keinen fremden Körper an diese Fäden bringen durfte, so schlug er vor[1], den Winkel derselben durch ihren auf einem Brette aufgefangenen Schatten mit einem Gradbogen zu messen.

Waiz[2] schlug vor, an die Enden der Fäden kleine Metallplättchen oder Gewichte zu hängen. Er nahm dazu seidene Fäden, und die Gewichtchen gingen aus einander, wenn er einen geriebenen Glascylinder in ihre Nähe brachte. Er machte sich Hoffnung dadurch die zurückstoſsende Kraft mit der Schwere vergleichen zu können. Le Roy und D'Arcy[3] schlugen vor, durch die Erhebung eines in einem mit Wasser ganz gefüllten Gefäſse schwimmenden, wie ein Araeometer geformten Glases, vermöge der Repulsion, welche zwischen einem an seinem Halse befestigten Scheibchen und einer messingenen Scheibe, womit das Gefäſs zugedeckt ist, statt findet, die Stärke dieser Repulsion, und damit die Intensität der E. an dem Leiter, welcher dieser Scheibe seine E. mittheilt, zu messen. Nur für sehr hohe Grade von E. dürfte indeſs eine solche Vorrichtung irgend einigen Ausschlag geben. Ellicot[4] schlug eine Wage vor, wo das Gewicht in einer Schale zeigt, wie stark ein elek-

1 Mem. de Paris 1757.
2 Abhandl. von der E. und deren Ursache. Berlin 1745. 4.
3 Mem. de Paris 1749.
4 Phil. Trans. Vol. LXV. 1775. No. 486.

trisirter Leiter die darüber gehaltene andere Schale anziehe[1]. Auf ähnlichen Gründen beruht auch ein Vorschlag von GRALATH[2]. CANTON[3] richtete 1753 die von DU FAY gebrauchten Fäden zu dem lange Zeit im Gebrauch gebliebenen Korkkugelelektrometer ein. Er liefs aus Kork oder Hollundermark zwei kleine Kugeln von der Gröfse einer Erbse sauber abdrehen, und hing sie an feine Zwirnsfäden. Er schlofs sie gewöhnlich in ein buxbaumenes Futteral oder Kästchen ein, damit man sie bei sich tragen konnte. Es darf auch nur ein Faden seyn, der in Fig. 134. der Mitte umgebogen wird. Dieses Elektrometer gehört schon zu den sehr empfindlichen, und kann leicht dazu dienen, positive und negative E. zu unterscheiden, indem man die Kügelchen vorher durch Mittheilung eines schwachen Grades einer bekannten E. z. B. von einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange divergiren macht.

HENLYS 1772 erfundenes Quadranten-Elektrometer beschreibt Fig. 135. PRIESTLEY[4]. Dasselbe steht auf einem kleinen Gestelle, von dem es nach Gefallen abgenommen und auf den ersten Leiter u. s. w. befestigt werden kann. Es besteht aus einer senkrecht stehenden Säule, die oben kugelförmig abgerundet ist, und unten ein Messingblech hat. Oben am Stiele ist ein getheilter elfenbeinerner Halbkreis befestiget, in dessen Mitte der Zeiger an einer feinen Achse von Messing steckt; der Zeiger selbst ist ein sehr dünnes Stäbchen, welches vom Mittelpuncte des Halbkreises bis an das Messingblech reicht, und trägt unten ein fein abgedrehtes Korkkügelchen. Das beste Holz zur Säule und zum Zeiger ist Buxbaum. Beim Elektrisiren steigt der Zeiger, und giebt auf dem Halbkreise Grade an, woraus sich auf die Stärke der E. schliefsen läfst. Diese Einrichtung hat das Unvollkommene, dafs wegen der Seitenrepulsion von der Scheibe aus die Bewegung sehr unregelmäfsig ist, auch dafs

1 Gilbert's Vorschlag, Ann. LX. 25, eine gewöhnliche feine Wage zu elektrometrischen Versuchen zu benutzen, wird von Egen mit Recht wegen zu geringer Empfindlichkeit derselben verworfen. S. G. LXXXI. 295.

2 Vers. und Abhandl. der naturf. Gesellsch. in Danzig. Th. I. 1747. No. 6.

3 Phil. Trans. Vol. XLVIII. P. 1. No. 53.

4 Phil. Trans. Vol. LXII. No. 26.

der Zeiger an seinem Aufhängungsorte Reibung erleidet, und sich bisweilen so klemmt, daſs er gar nicht in die Höhe steigt.

Langenbucher[1] stellte zwei 6 Zoll lange Glassäulen 3 Zoll weit von einander; auf der einen steht ein 5 Zoll hohes und 1 Zoll breites messingenes Plättchen, an dessen unteres Ende ein krummgebogener Draht mit einer Kugel eingeschraubt ist. Am obern Ende hängt ein buxbaumener Zeiger, aber ohne Korkkügelchen am untern Ende, herab. Auf der andern Glassäule steht ein getheilter Halbkreis von Elfenbein oder gedürrtem Holze, dessen Mittelpunct in den Aufhängungspunct des Zeigers fällt. Alles bis auf die Messingplatte, den Zeiger und den Halbkreis ist mit Siegellack überzogen. Beim Gebrauche verbindet man die messingene Kugel mit dem elektrisirten Körper. Diese Art der Einrichtung vermeidet den Nachtheil der Seitenrepulsion, und ist auch bequemer, um sie mit jedem Conductor in Verbindung zu bringen.

Achard war der Erste, der diesem Instrumente, welches nach den bisherigen Einrichtungen als ein bloſses Elektroskop zu betrachten war, das nur verschiedene Stärken der E. im Allgemeinen angab, ohne sie übrigens nach ihrem wahren quantitativen Werthe zu messen, und mit welchem keine vergleichbaren Beobachtungen angestellt werden konnten, die Vollkommenheit eines wirklichen Meters zu geben bemüht war[2], indem er das jedesmalige Verhältniſs der E. zur Schwere des Erdkörpers zu bestimmen suchte. An einem messingenen Lineale[3] Fig. 136. AB sind bei C, c an kleinen Haken zwei Kugeln von verschiedenem Gewichte F, f an messingenen Fäden von gleicher Länge aufgehangen. Die Fäden müssen so steif seyn, daſs sie sich nicht krümmen. Das Lineal hat bei L, l Vertiefungen, damit der Faden dicht an seiner Seite anliegen kann, wenn die Kugel das Lineal berührt. Die Kugeln würden aus Meerschaum zu verfertigen seyn, welche Materie die Feuchtigkeit aus der Luft wenig annimmt. Kennt man das Gewicht der Kugel mit

1 Beschreibung einer beträchtlich verbesserten Elektrisirmaschine. 1780. 8. S. 44.

2 Beschäftigungen der Berl. Ges. naturf. Freunde. Thl. I. Berlin 1775. gr. 8. S. 53 flgd.

3 Vergl. Lichtenbergs Magazin für das Neueste u. s. w. Bd. II. St. 1. S. 146.

seinem Pendel und die Gröſse des Abstoſsungswinkels, so kennt man eben damit die Gröſse der abstoſsenden Kraft in Gewicht ausgedrückt[1]. Der Winkel, auf dessen genaue Bestimmung hierbei alles ankommt, muſs in einer Entfernung von wenigstens 4 Fuſs gemessen werden können, weil bei einer gröſseren Nähe eines fremden Körpers das Pendel gestört werden würde. Hierzu gab nun der Erfinder einen zwar sehr gut ausgedachten aber auch sehr zusammengesetzten Chorden-Messer an, den sonst Elkner in Berlin nebst dem Elektrometer selbst für 72 Thaler verfertigt hat, welches Instrument schon wegen dieses hohen Preises sich nicht leicht Eingang in den el. Apparat verschaffen konnte, abgesehen davon, daſs dasselbe mit el. Conductoren nicht bequem zu verbinden, auch für die Bestimmung schwächerer Grade von E. gar nicht anwendbar ist.

Cavallo verschaffte dem Canton'schen Elektrometer durch Einschlieſsen in eine bequem dazu eingerichtete Flasche und andere kleine Verbesserungen eine vielseitigere Brauchbarkeit, besonders auch für die Beobachtung der Luftelektricität. Diese Verbesserungen brachte er im Jahre 1777 zu Stande. Adams verfertigte nach seinem Modelle mehrere derselben, und theilte auch zuerst eine Beschreibung und Abbildung davon mit[2], die nachher auch Cavallo[3] nachgeliefert hat. Der Hauptheil dieses Flaschen-Elektrometers ist eine Glasröhre CDMN, welche unten auf das hölzerne (oder auch messingene) Stück AB gekittet ist, wobei man das Instrument hält, wenn man es zur Untersuchung der atmosphärischen E. gebraucht. Der obere Theil des Rohres CDMN läuft am Ende etwas enger zu, und ist ganz mit geschmolzenem Siegellack überzogen. In dieses enger zulaufende Ende ist eine dünne Glasröhre gekittet, deren unteres, gleichfalls mit Siegellack bedecktes Ende in der Röhre CDMN ein wenig hervorragt. In diese dünne Röhre ist ein Draht gekittet, welcher mit seinem untern Ende bis an das platte Stück Elfenbein H reicht, das mittelst eines Korkes in die Röhre befestigt ist. Das obere Ende des Drahtes ragt etwa $\frac{1}{4}$ Zoll über der Röhre heraus, und schraubt sich in die messingene Kapsel

Fig. 137.

1 Vergl. Elektrometrie.

2 Vers. über die E. S. 164.

3 In der 4ten Auflage seiner vollständigen Abhandlung von der E. IIter Bd. S. 19. Leipzig 1797.

EF, welche unten offen ist, und dazu dient, die mit Siegellack überzogenen Theile des Instruments gegen den Regen u. dergl. zu sichern. Die conischen Körke P, welche durch ihr Zurückstoſsen die E. anzeigen, sind bei diesem Elektrometer so klein, als man sie nur verfertigen kann, und an sehr feinen Silberdrähten aufgehangen. Diese Drähte sind oben im Ringe gebogen, und hängen damit sehr lose in dem flachen Stücke Elfenbein H, das zu diesem Behuf zwei Löcher hat. Durch diese Art der Aufhängung wird die Reibung ganz unbedeutend, und daher das Instrument gegen einen sehr geringen Grad der E. empfindlich. TM und KN sind zwei schmale Stanniolstreifen, welche an der innern Seite der Röhre CDMN befestigt sind, und mit dem hölzernen Boden AB in Verbindung stehen. Sie dienen zur Ableitung der E., welche dem Glase durch Berührung der Körke mitgetheilt wird, und bei einiger Anhäufung der freien Bewegung der Körke hinderlich seyn würde.

Will man vermittelst dieses Instrumentes schwache Grade von E., wie sie z. B. beim Reiben von Körpern, die in ihrer Beschaffenheit nur wenig von einander abweichen z. B. verschiedener Glasarten, und zugleich die Beschaffenheit derselben an jedem der beiden geriebenen Körper erkennen, so müssen die Korkkügelchen selbst schon zuvor eine schwache E. erhalten haben, durch welche sie divergiren. Dieses läſst sich indeſs nicht durch Mittheilung bewirken, da die Kappe bei ihrer vollkommenen Abrundung und glatten Oberfläche die E. von einer geriebenen Siegellackstange oder Glasröhre selbst bei unmittelbarer Berührung nur mit Mühe, schwächere Grade aber gar nicht annimmt, allein sehr wohl läſst sich diese Elektrisirung der Korkkügelchen durch Vertheilung zu Stande bringen. Zu diesem Behuf nähert man eine durch Reiben elektrisirte Siegellackstange oder Glasröhre der Kappe, bis die Kügelchen hinlänglich divergiren, doch ohne an die Glaswände anzustoſsen, was durch die vermittelst der Atmosphärenwirkung zurückgetriebene, mit derjenigen des angenäherten Körpers gleichartige E. geschieht. Berührt man die Kappe mit dem Finger, während man den genäherten elektrisirten Körper unverändert in seiner Lage erhält, so fallen die Korkkügelchen zusammen, indem *die freie* E. der Korkkügelchen abgeleitet wird, oder sich mit *ihrem* Gegensatze aus dem Erdboden ausgleicht. Hebt man dann die Berührung mit dem Finger auf, und entfernt den elek-

trisirten Körper, so gehen die Korkkügelchen abermals mit der von letzterem vorher gebundenen und nunmehr frei werdenden, der seinigen entgegengesetzten E. aus einander, und zwar eben so stark, als sie vorher durch die mit der seinigen gleichartige E. divergirten, und diese E. wird sich lange Zeit, bei recht trockener Witterung Stunden lang fast ungeschwächt erhalten. Bringt man irgend einen Körper, dessen freie E. man untersuchen will, gegen die Kappe EE., so werden die Körke des Elektrometers durch ihr Zusammen- oder weiteres Auseinandergehen die Art seiner E. anzeigen, indem Ersteres durch eine derjenigen der Korkkügelchen entgegengesetzte, Letzteres durch eine mit der ihrigen gleichartige E. bewirkt wird. Es bedarf kaum erinnert zu werden, daſs dieses Instrument in der beschriebenen Einrichtung ein bloſses Elektroskop und kein Elektrometer ist.

Mit diesem Flaschenelektrometer Cavallo's kommt im Wesentlichen das so bekannte *Goldblattelektrometer* Bennet's überein, nur daſs statt der Korkkügelchen Goldblättchen zum elektroskopischen Körper gebraucht sind, wodurch dieses Elektrometer ungemein an Empfindlichkeit gewonnen hat, und ein wahres Mikroelektrometer darstellt. Abraham Bennet hat im Jahre 1787 eine Beschreibung und Abbildung davon[1] gegeben, und Boeckmann hat seinen Gebrauch zuerst in Deutschland[2] bekannt gemacht, wo sich eine Beschreibung und Abbildung des von ihm in einigen Puncten abgeänderten Instrumentes findet. Das wesentlich Neue an demselben sind die Streifen von geschlagenem Golde, etwa 2 Linien breit und 18—20 Linien lang. Diese hängen an den Seitenflächen der keilförmigen Zuschärfung eines Stückes Holz, oder noch besser Zinns, woran sie mit ein wenig Eierweiſs oder Firniſs angeklebt werden, dicht neben einander und parallel unter sich in der Mitte eines Glascylinders herab, welcher etwa 1,5 Z. im Durchmesser hat und ungefähr 3,5 Z. hoch ist. Damit diese Glasröhre noch besser isolire, wird der obere Theil derselben etwa auf eine Strecke von einem Zoll mit Siegellack oder gutem Bernsteinfirniſs überzogen, der untere Theil der Röhre geht etwas gedrängt in eine

Fig. 138.

1 Phil. Trans. LXXVII. daraus übers. in den Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. IV. Bd. 4tes St. S. 419.

2 Grens Journal der Physik. I. Band. S. 380 flgd.

messingene Einfassung, welche an den Seiten mit Leder oder mit Sammet ausgefüttert, und unten an dem hölzernen Fuſse des Instruments angeschraubt ist; der obere Theil derselben schlieſst sich eben so in einen mit starkem Seidenzeug gefütterten Ring, der in den metallenen Deckel qq von 4″ im Durchmesser eingelöthet ist. Dieser Deckel qq ist auch mit einem ¼ Zoll breiten niedergehenden Rande mm versehen, um dadurch bei Versuchen im Regen und Schnee die Glasröhre gegen die herabfallende Feuchtigkeit zu schützen. In der Mitte des Deckels ist eine Oeffnung von 10 Linien im Durchmesser, worin das Stück d eingeschraubt wird, an welches die kleine messingene Röhre a gelöthet ist, um das Holz oder Metallstück b aufzunehmen, welches zum Anhängen der beiden Goldstreifen keilförmig zugeschnitten ist. Auch wird an dasselbe von auſsen ein 1 bis 1,5 Fuſs langer zugespitzter messingener oder eiserner Draht bei Untersuchung der atmosphärischen E. geschraubt. Das ganze Stück d kann bequem herausgenommen werden, um die Goldstreifchen daran zu kleben. Endlich sind noch innerhalb der Glasröhre an zwei einander gegenüberstehenden Seiten 3—4 Linien breite Streifen Stanniol angeleimt, um die E. von den bis zur Berührung damit divergirenden Goldblättchen anzunehmen, und durch den Boden fortzuleiten, zu welchem Zwecke der untere Boden des hölzernen Fuſses noch mit Stanniol überzogen ist.

Da dieses Instrument zur Ausmittelung der kleinsten Grade von E. vorzüglich unter Mitwirkung des Condensators von vorzüglich gutem Dienste ist, und nur das Behrens-Bohnenbergersche ihm etwa den Rang streitig machen könnte, so will ich hier noch einige Verbesserungen in der beschriebenen Einrichtung, und einige Rathschläge für seinen Gebrauch und seine Erhaltung geben. Für alle Versuche, mit Ausnahme derjenigen über die Luftelektricität, ist es viel besser, wenn die obere messingene Fassung eine so kleine Oberfläche wie möglich hat. Ich bediene mich daher am liebsten enghalsiger, in der gröſsten Weite des Bauchs 4 Zoll haltiger kleiner Glasglocken, wodurch dann die obere messingene Fassung nur eine sehr kleine Oberfläche erhält, und zugleich der Raum für die Divergenz der Goldblättchen gröſser wird, und das Instrument in der Mikro-Elektrometrie eine gröſsere Zahl von Graden umfaſst. Diese messingene Fassung dient zugleich als Schrauben-Mutter, um

das Messingstück, an welchem der keilförmig zugeschnittene Metallstab von Zinn zur Anklebung der Goldblättchen angelöthet ist, einzuschrauben, welches Messingstück oberwärts einen schraubenförmig eingeschnittenen Stiel hat, um entweder eine Kugel oder die Platte eines Condensators aufschrauben zu können. Um die Isolirung der Goldblättchen noch vollkommener zu machen, kann man auch die obere messingene Fassung ganz weglassen, indem der Metallstift für die Goldblättchen unmittelbar in eine aufsen und innen mit Siegellack überzogene Glasröhre eingekittet wird, welche ihrerseits in einen gleichfalls mit Siegellack überzogenen durchbohrten Kork befestigt ist, der in die obere Mündung des Halses der kleinen Glocke vollkommen genau pafst. Die Anklebung der Goldblättchen an die Flächen des keilförmigen Endes des Metallstiftes mit etwas arabischem Gummi oder Firnifs hat nicht die geringste Schwierigkeit, und kann von jedem Buchbinder, der auch die Blättchen zurecht schneidet, leicht beschafft werden, und es bedarf dazu nicht des umständlichen Verfahrens, welches CAVALLO[1] vorschreibt. Da es sehr wichtig ist, dafs die Fläche der Goldblättchen parallel mit der Fläche der Stanniolblättchen an den Wänden des Glases sey, so kann dieses bei der zweiten Einrichtung leicht durch eine angemessene Drehung des Korkes erreicht werden, bei der ersten Einrichtung mit der messingenen Fassung mufs man sich dadurch zu helfen suchen, dafs man zwischen das Messingstück, das eingeschraubt werden soll und die messingene Fassung ein zusammendrückbares Plättchen Bley oder Stanniol legt, und so lange die Schraube anzieht, bis der vollkommene Parallelismus erreicht ist. Es versteht sich, dafs man nach der Länge der Schraube bald ein dickeres, bald ein dünneres Plättchen bedarf. Der Keil am Metallstifte wird so zugeschnitten, dafs die Goldblättchen, wenn sie an die Seitenwandungen desselben bis an die untere Schärfe angeklebt sind, und parallell neben einander herabhängen, ein klein wenig von einander abstehen, wodurch das beschwerliche Anhaften derselben an einander vermieden wird, das oft nur durch starke Grade von E. wieder aufgehoben werden kann, wobei die Blättchen leicht zerreifsen.

Ich knüpfe hier noch zwei Verbesserungen an, durch welche PARROT bemüht gewesen ist, einerseits die Empfindlichkeit

---

1 Vollst. Abhdl. II. Thl. S. 177.

dieses Elektrometers noch zu erhöhen, andererseits seinen Gang regelmäfsiger zu machen [1]. PARROT bedient sich nur eines Goldblättchens, die Stelle des anderen vertritt ein unbeweglicher Metallstab ef, von derselben Breite, wie das Goldblättchen, und vergoldet, der neben demselben herabgeht, sich nach oben bis d verlängert, und daselbst umgebogen ist, um die eine Condensatorplatte aa anschrauben zu können und in eine Glasröhre de eingekittet, die durch eine Hülse von Metall rs an die Glasplatte AB angekittet wird, durch welche sie ⅓ ihre Länge hindurchgeht. Eine andere Metallstange ist in einem Charniergelenke durch den Fufs it auf der Metallplatte EF aufgeschraubt, die das Ganze trägt, und selbst auf drei Schraubenfüfsen ll ruhet, durch welche der Metallstab ef in eine genau verticale Lage gestellt werden kann. Das Charnier ist so eingerichtet, dafs man die andere Scheibe des Condensators bb bis in die Lage xy bringen, und wieder in die verticale Lage parallel mit aa und nicht weiter bringen kann. Eine kleine Handhabe g, die an die Stange ch befestigt ist, dient diese Bewegungen vorzunehmen. Das gläserne Gehäuse des Elektrometers ist übrigens von länglicher viereckiger Gestalt, wie die Zeichnungen angeben. Da die bei dem gewöhnlichen Goldblattelektrometer an den Seiten des Glases angebrachten Stanniolstreifen auf die Goldblättchen wirken, und durch Anziehung ihre Divergenz vermehren, und zwar um so stärker, je gröfser ihre Divergenz ist, so substituirte PARROT denselben einen aus einem Messingdrahte verfertigten Bogen Km, der mit seinen Füfsen nn mit der Metallplatte KI, welche den Boden des Glaskastens ausmacht, verbunden ist. Der Mittelpunkt dieses Bogens ist in o, derjenige Punkt, wo das Goldblättchen an den Stab angeleimt ist, das also den Radius desselben bildet, und der Bogen äufsert also eine ganz gleichförmige Wirkung auf das Goldblättchen, in welcher Lage sich auch dasselbe befinden möge. Um die Empfindlichkeit dieses Elektrometers noch mehr zu erhöhen, hat PARROT demselben noch eine andere Einrichtung gegeben. Der Bogen wird nämlich weggelassen, und an der Stelle desselben befindet sich ein vertical parallel mit dem Goldblättchen aufgerichteter Metallstab qr, der an einem in halbe Linien getheilten horizontalen Metallstabe rs befestigt ist. In-

Fig. 139.

Fig. 140.

Fig. 141.

1 Entretiens sur la Physique. Tome V. Dorpat. 1822. p. 86.

dem der Letztere sich über einen andern in der Metallplatte KI befestigten Stabe fortschieben läſst, kann der verticale Metallstab bis zur Stange ef, an welcher das Goldblättchen hängt, einerseits beliebig genähert, andererseits so weit davon entfernt werden, daſs er keinen merklichen Einfluſs mehr auf dasselbe ausübt, selbst wenn das Goldblättchen bis 90° divergirt. Es ist klar, daſs wenn das Goldblättchen um einige Grade divergirt, diese Divergenz mit der Annäherung des Stabes zunehmen werde, bis bei gehöriger Annäherung es zum Anschlagen kommt. Wie sehr die Empfindlichkeit des Elektrometers dadurch erhöhet wurde, ergab sich unter anderm aus folgendem Versuche. Näherte man den Stab bis auf eine Entfernung von einer halben Linie von dem Goldblättchen, wenn dasselbe keine gröſsere Divergenz als von 0,12 eines Grades hatte, so nahm die Divergenz bis auf 2°,25 in demselben Augenblicke zu, wenn die Berührung eingetreten war. Die Divergenz war also in dem Verhältnisse von 18,75: 1 erhöht worden, und in diesem Verhältnisse war demnach auch die Empfindlichkeit des Elektrometers gesteigert. Es ergab sich aus eben diesen Beobachtungen gleichfalls, daſs je schwächer die E. ist, desto gröſser die Vervielfältigung der Grade ist, wenn das Goldblättchen anschlägt. Für 4° war z. B. die Vergröſserung des Elongations-Winkels 3,25 fach für 12 Grade 2,5 fach und für 22°,3 zweifach. Wenn die E. aus einem Elektricitätsquell auch so schwach ist, daſs selbst bei Anwendung des doppelten Condensators [1] das Goldblättchen sich nur um eine zweifelhafte Gröſse vom Stabe entfernt hätte, so näherte sich dasselbe bei Annäherung des beweglichen Ableiters, um eine meſsbare Gröſse dem Stabe allmälig bis zum Anschlagen an denselben [2].

Nicholson [3] hatte eine der Parrot'schen ähnliche Einrichtung schon früher angegeben, indem er den beiden Goldblättchen ein Paar flache Messingstäbe gegenüber stellte, die sich um eine gemeinschaftliche Achse gleich den Schenkeln eines Cirkels drehen, und sich dadurch einander nähern oder von einander

---

1 S. *Condensator.*

2 Vergl. auch Ueber die Sprache des Elektricitätsmessers, von Parrot in Gilb. Ann. 1819. I. Bd. S. 263.

3 Journ. of. nat. Ph. 1797.

entfernen lassen. Parrot's Einrichtung verdient aber wegen ihrer gröſseren Einfachheit den Vorzug.

Schweigger hat vorgeschlagen[1], bei dem Goldblattelektrometer statt der Deckplatte von Messing eine kleine belegte Franklin'sche Tafel anzubringen, um mittelst einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange durch Vertheilung die Goldblättchen erst zur Divergenz zu bringen. Indeſs kann dieses durch das oben beschriebene Verfahren einfacher bewerkstelliget werden.

Im Jahre 1786 erschien das wichtige Werk von de Lüc: Nouvelles Idées sur la Météorologie, in welchem dieser Physiker vorzüglich zum Behuf seiner Untersuchungen über die E. sich auch mit der Verbesserung der als eigentlicher Maſse für die verschiedenen Grade der E. im Ganzen doch noch sehr unvollkommenen Elektrometer beschäftigte, ein sogenanntes *Fundamentalelektrometer* angab, und Vorschriften mittheilte, wie sich vermittelst desselben auch für andere Fälle allgemein vergleichbare Elektrometer verfertigen lassen. Die Bemerkungen und Vorschläge de Lüc's haben auch für den gegenwärtigen Standpunct der Wissenschaft noch Interesse genug, um hier ihrem wesentlichen Inhalte nach eine Stelle zu verdienen.

De Lüc bemerkt vorläufig nach Volta, man könne genaue elektrometrische Beobachtungen nie in der Nähe der Elektrisirmaschine anstellen, weil durch diese die umgebende Luft mit elektrisirt werde, welches in den beweglichen Theilen des Werkzeugs fremde Bewegungen hervorbringe. Man müsse sich vielmehr von dieser ersten Quelle des el. Fluidums entfernen, und sich lieber durch eine leidner Flasche damit versehen, welche für alle Versuche dieser Art mehr als hinreichend sey. Er hat dazu eine cylindrische Flasche gewählt, deren Höhe 5,25 engl. Zoll, der Durchmesser $2\frac{1}{8}$ Zoll hielt. Die Belegungen reichten von innen nach auſsen bis $1\frac{1}{4}$ Zoll von oben, und der unbelegte Raum war mit Siegellack überzogen. Die Oeffnung war mit einer hölzernen Scheibe verschlossen, durch welche der Stiel des Knopfes ging. Der Knopf selbst hatte $\frac{7}{8}$ Zoll im Durchmesser. Nach dieser Flasche hat nun de Lüc die Krümmungen der Theile des Apparates, mithin auch die Gröſse der Kugeln eingerichtet, weil alles so beschaffen seyn muſste, daſs

1 J. A. B. XXV. S. 163.

bei der Berührung mit dem Knopfe der Flasche in ihrer stärksten Ladung kein Theil einen Strahlenbüschel aussendete. Statt der sonst gewöhnlichen Hollundermarkkügelchen gebraucht DE LÜC hohle Kugeln von Silber an Strohhalmen aufgehängt, die er bei seinen Versuchen am vortheilhaftesten fand. Er macht nur die eine von beiden Kugeln beweglich, weil die Beobachtungen geschwind angestellt werden müssen, und sich die Stellung zweier Körper gegen die Scale nicht so leicht bemerken läſst, auch weil die Beweglichkeit einer einzigen Kugel durch ein oben angebrachtes Gegengewicht beträchtlich vermehrt werden kann. Der Fuſs des Fundamentalelektrometers a a ist von Holz, und unten mit einer Bleiplatte b b belegt, damit das Instrument feststehe. Auf dem Fuſse ist ein Stück Holz c eingeschraubt, welches die isolirende Säule d d trägt, die aus einer in- und auswendig mit Siegellack überzogenen Glasröhre besteht. Oben daran ist eine Verbindung aus verschiedenen Stükken Buchenholz, deren vorzüglichstes e f mit seinem Zapfen f in die Röhre geht, und sich darin mit sanftem Anreiben umdreht. Quer durch dieses Stück geht horizontal die Glasröhre g g, von innen und auſsen mit Siegellack überzogen. Sie schlieſst ein Stäbchen von Messing ein, welches dem Elektrometer zum Leiter dient. Das eine Ende des Stäbchens geht mit einer Schraube in den messingenen Cylinder h, das andere in die messingene Kugel i. Die unbewegliche Kugel k l m ist an dem Puncte k an das hölzerne Stück k l aufgehängt, dessen Theil l in einen Halm ausgeht, an dem die Kugel angeleimt ist. Das hölzerne Stück h ist flach und geht mit etwas Gewalt in eine Oeffnung des messingenen Cylinders h, wo es durch einen Stift gehalten wird. Die Oeffnung des Cylinders erlaubt dem Stücke k eine kleine Bewegung an seinem Stifte, welche dazu dient, diese Kugel in Berührung mit der andern zu bringen, wenn die letztere gehörig hängt. Diese letztere ist am Puncte p in eine Gabel p o aufgehangen, deren Zapfen o mit etwas starkem Reiben in den Cylinder h geht. Die Scale r s ist aus Buchenholz, etwa 0,75 Linien dick, das Papier darauf mit Kleister aus Stärkemehl aufgeklebt und unter einer Presse getrocknet; der Rand ist abgerundet, wie alle Stücke am el. Apparate. Der Halbmesser dieser Scale ist 4 Pariser Zoll; man hat nicht nöthig, mehr als 40 Grade darauf zu tragen, weil für stärkere E., wo die Divergenz gröſser wird, das Fundamentalelektrometer nicht gebraucht werden soll. Diese sehr

Fig. 142.

leichte Scale wird von einem kleinen gläsernen Stäbchen tr vermittelst einer bloſsen Röhre von aufgerolltem und geleimtem Papier, das mit Leim hinter die Scale in r befestiget ist, getragen[1]. Das andere Ende des Stäbchens geht in einem hölzernen Wirbel t. Das Stück uu ist ein Ring, der sich mit etwas starker Reibung umdreht, in diesen Ring geht mit gleicher Reibung der Wirbel t.

Diese Verrichtung läſst vielerlei Bewegungen zu, mittelst deren man der Scale ihre gehörige Stellung geben kann. 1. Man bringt sie in eine verticale Ebene, indem man die kleine papierene Röhre auf dem Glasstäbchen beim Puncte r dreht. 2. Man bringt sie in eine bestimmte Entfernung von der Kugel, indem man den Ring uu dreht. 3. Man macht den Halbmesser, welcher dem Anfange der Scale correspondirt, vertical durch Bewegung des Wirbels t. 4. Man läſst diesem Halbmesser mit der beweglichen Kugel correspondiren, indem man das Glasstäbchen, welches in dem Wirbel t oder der papierenen Röhre r fort glitschen kann, verlängert oder verkürzt. In diesem Stande muſs der Mittelpunct, um den die Scale beschrieben ist, mit dem Aufhängepuncte der Kugel in einerlei waagerechter Ebene liegen. Das Stäbchen der beweglichen Kugel n ist aus einem Strohhalme gemacht, der sehr gerade, und mit einer kleinen schärfen Feile an dem obern Theile eines Gliedes abgeschnitten seyn muſs. Man läſst den Knoten nebst einem kleinen Theile des folgenden Gliedes daran, und paſst den Letzteren gleichsam einschraubend in die dünne Hülse der Kugel n ein. In dem Aufhängepuncte p hängt der Strohhalm vermittelst eines rechtwinklich durchgesteckten stählernen Zapfens in einem Ringe, aus welchem man das ganze Pendel sehr leicht herausnehmen kann. Das Gegengewicht q besteht aus einer Kugel von Siegellack, welche durch ein Stäbchen von überzogenem Glase mit der messingenen Röhre oder Hülse verbunden ist, die das ganze Pendel bei p umgiebt. Die hohle silberne Kugel n muſs genau 7 Par. Linien im Durchmesser haben. Ihre Entfernung vom Aufhängepuncte, vom Anfange der Kugel an gerechnet, muſs 4 Zoll 8 Linien seyn, und die Länge des Glasstäbchens, welches die Kugel trägt, muſs 2 Zoll 9 Linien be-

---

1 *Diese* Röhre ist in der *Figur* durch eine punctirte Linie vorgestellt.

tragen. Die silberne Kugel muſs durch allmäliges feines Abdrehen so justirt werden, daſs sie mit dem daran befindlichen Halme, jedoch ohne Gegengewicht, am Aufhängepuncte p horizontal auf eine Gabel gelegt, auf der Schale einer empfindlichen Wage genau mit 30 Gran nach englischem Troy-Gewichte, oder 24½ Gran französischem Markgewichte in Gleichgewichte steht. Das Gegengewicht q mit dem Glasstäbchen muſs hernach dem Pendel so angepaſst werden, daſs in der oben erwähnten horizontalen Lage des Ganzen, von dem Gewichte der silbernen Kugel nur noch 7,5 Gr. englisch ($6\frac{5}{12}$ franz.) übrig bleiben[1].

Dieses *Fundamentalelektrometer* wird allemal gebraucht, wenn man unmittelbar durch eine Leidner Flasche von mäſsiger Gröſse elektrisirt, weil bei geringeren Dimensionen des Elektrometers Strahlenbüschel entstehen würden. Hat man aber bloſs die Wirkung eines elektrisirten Körpers auf andere Körper zu untersuchen, so kann man kleinere Werkzeuge gebrauchen. De Lüc nimmt zu dieser Absicht eine zweite Classe jener ersteren völlig ähnlich, aber auf die Hälfte der Dimensionen reducirt, nur die Höhe des Fuſses, und die Länge des kleinen Leiters gg ausgenommen, welche stets dieselben bleiben. Sie werden durch Vergleichung mit dem Fundamentalelektrometer eingerichtet, indem man den Knopf i des Letzteren mit ihrem Knopfe in Verbindung bringt, beide gemeinschaftlich elektrisirt, und die anfangs etwas groſs genommene Lackkugel des Gegengewichts so lange vermindert, bis beide übereinstimmend gehen. Ist es nöthig, die Kugeln des Elektrometers auſser den Wirkungskreis des elektrisirten Körpers zu bringen, so muſs der Leiter gg durch ein eingeschraubtes messingenes Stäbchen verlängert werden.

Bei der Untersuchung der E. in sehr kleinen Körpern gebraucht de Lüc ganz kleine, übrigens dem gröſseren ähnliche, Werkzeuge mit zween Grashalmen, die man an dem Stengel gewisser Gräser sehr dünn findet. Auch hierbei ist der eine Halm beweglich, der andere unbeweglich, und an beiden Enden derselben ist ein Tropfen Siegellack angebracht, um die Zer-

1 Die Handgriffe, wodurch man diese Absicht erreicht, werden von de Lüc im 1sten Bande der Nouvelles Idées §. 411 umständlich beschrieben.

streuung der E. zu verhüten. Bei dem ersten Leiter einer starken Elektrisirmaschine kann das Fundamendalelektrometer nicht gebraucht werden, weil es ihn unaufhörlich durch Büschel entladen würde; eben so wenig dient es für schwache Elektricitäten, welche z. B. unter einem Grade sind. Aus diesem Grunde hat de Lüc auch noch el. *Megameter* und *Mikrometer* angegeben. Die Megameter müssen grofse Kugeln haben, damit an ihnen keine Büschel hervorgebracht werden, und es ist der vorzüglichste Fehler aller bisher an die ersten Leiter der Maschine angebrachter Elektroskope, dafs ihre Kugeln zu klein sind. Kugeln von 2 Zoll Durchmesser sind schon für mittelmäfsige Elektrisirmaschinen nicht zu grofs. Bei gröfseren Maschinen kann man Kugeln von 3—4 Zoll Durchmesser gebrauchen. Der Leichtigkeit halber kann man auch kleine ausgehöhlte Kürbisse gebrauchen, die man sorgfältig vergolden läfst. Statt der Strohhalme nimmt man Schilf. Das Gestell dieser grofsen Kugeln ist von dem des Fundamentalelektrometers nur durch die Gröfse der Theile verschieden, aufser dafs der Fufs von einer der Maschine angemessenen Höhe und Form seyn mufs, und der Leiter nicht ganz im Verhältnifs der Kugeln vergröfsert zu werden braucht. Wenn das Fundamentalelektrometer 40° zeigt, so mufs das Megameter nur 4° zeigen, und dieses Verhältnifs bewirkt man durch das Gegengewicht. Man bringt nämlich beide Elektrometer an den ersten Leiter der Maschine, und läfst dieselbe stufenweise wirken, bis die Kugel des Fundamentalelektrometers auf 40° steht. Zeigt alsdann das Megameter auf seiner Scale 4°, so ist es richtig, wo nicht, so mufs man es durch das Gegengewicht dahin bringen, indem man entweder die Gröfse der Lackkugel oder die Länge des Glasstäbchens verändert. Bei dieser Einrichtung werden die Grade des Megameters zehnfache des Elektrometers seyn. De Lüc bemerkt hierbei, dafs die starken Grade der E., welche über die Scale seines Fundamentalelektrometers hinausgehen, wegen der starken Zerstreuung in der Luft überhaupt sehr schwankend und beständigen Sprüngen und Fällen unterworfen sind. Auch sey es, wie er bemerkt, sehr schwer, den stärksten Grad der Elektrisirung, dessen eine Maschine fähig ist, zu bestimmen, denn, wenn man schnell drehe, so schwinge die Kugel des Megameters so stark, dafs man über nichts urtheilen könne; drehe man aber langsam, oder vermindere man die Anzahl der einsaugenden Spitzen am

ersten Leiter, so bleibe man ohne Zweifel unter dem stärksten Grade der Elektrisirung zurück.

Was die *Mikrometer* betrifft, so giebt de Lüc davon zwei verschiedene Arten an, deren Pendel eben so lang und von gleicher Einrichtung wie die Pendel des Fundamentalelektrometers sind, weil sie diesem substituirt werden müssen. Aber die Kugeln sind von verschiedener Gröfse und Substanz. An dem ersten Mikrometer ist die Kugel von Hollundermark von 4,75 Linien (0,42 engl. Zoll) im Durchmesser, und hat statt eines Strohhalmes einen Grashalm zum Stäbchen. Das Glasstäbchen zum Gegengewichte ist dünner und kürzer, und hat am Ende blofs eine kleine mit dem Finger abgerundete Masse Siegellack. Wenn dieses Mikrometer in Verbindung mit einem Fundamentalelektrometer ist, so mufs seine Kugel sich auf 40° erheben, wenn die andere sich auf 4° erhebt, wodurch die Grade desselben Zehntheile von den Graden des Fundamentalelektrometers werden. Des zweiten Mikrometers Kugel ist gleichfalls von Hollundermark, hat aber nur 2,5 Linien (0,22 engl. Zoll) im Durchmesser; das Werkzeug selbst ist sonst in allem dem ersten ähnlich. Das Pendel desselben wird vermittelst des Gegengewichtes so justirt, dafs es in Verbindung mit dem ersten Mikrometer 40° angiebt, wenn dieses nur 4° angiebt. Auf diese Weise werden seine immer auf derselben Scale angezeigten Grade Hunderttheile von denen des Fundamentalelektrometers. Noch ist zu erinnern, dafs man bei den Pendeln dieser beiden Mikrometer, weil sie so kleine Kugeln haben, die unbewegliche Kugel m so weit an die bewegliche n anrücken mufs, dafs sie dieselbe in ihrer verticalen Lage berühre. Das letztere Mikrometer zeigt, wenn es nicht recht gemacht ist, eben die Empfindlichkeit, wie das oben beschriebene Flaschenelektrometer Cavallo's.

Da in der Angabe de Lüc's alles, was sich auf Verfertigung seines Elektrometers bezieht, genau nach Mafs und Gewicht bestimmt ist, so scheint damit der wichtige Zweck erreicht zu seyn, dieser Anweisung gemäfs übereinstimmende Elektrometer verfertigen zu können. Indefs möchten sich doch in der Ausführung selbst beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten finden, da auch nur ganz kleine kaum vermeidliche Abweichungen in dem Gewichte der Kugeln, in ihrer Krümmung, in ihrer Beweglichkeit, in ihren Aufhängungspuncten u. s. w. schon von merklichem Einflusse seyn dürften. So verdienstlich

daher auch de Lüc's Bemühungen erscheinen, so hat das von ihm angegebene Fundamentalelektrometer keinen Eingang in die physikalischen Apparate gefunden, wozu denn allerdings der Umstand mit beigetragen haben mag, dafs genaue Bestimmungen der Stärke der E. im allgemeinen von viel geringerem Interesse sind, als z. B. genaue Bestimmungen der Temperatur, des Drucks der Luft, der Feuchtigkeit u. s. w.

An de Lüc's Bemühungen schliefsen sich am unmittelbarsten diejenigen von Volta an, dem wir nicht blofs ein sehr brauchbares, auch jetzt noch häufig angewandtes Elektrometer verdanken, sondern welcher gleichfalls sein vorzügliches Augenmerk darauf richtete, dieses Instrument zu einem genauen Maße zu erheben, und in den Stand zu setzen, harmonirende Instrumente dieser Art zu verfertigen[1].

Zur Beobachtung geringer Grade der E. und besonders der Luftelektricität bedient sich Volta statt der von Canton, Cavallo, de Saussure in Anwendung gebrachten Metalldrähte mit Kork- oder Hollundermarkkügelchen blofser Strohhälmchen ohne Kugeln. Diese werden in leicht beweglichen Ringen von feinem Metalldrahte nahe neben einander (nicht dicht an einander, weil ihre dann eintretende Anhaftung durch die Repulsivkraft der schwachen Grade von E. nicht überwunden werden kann) in vierseitigen gläsernen Flaschen von 20—26 Pariser Linien Breite aufgehängt, deren eine Seitenfläche mit einem Papierstreifen versehen wird, worauf sich die Scale befindet, um die Divergenzen zu messen. Man kann nun, indem man die Strohhälmchen von einer bestimmten Länge und Dicke nimmt, auch den Graden gleiche Länge giebt und in den Flaschen dieselben Dimensionen beobachtet, solche Elektrometer vollkommen übereinstimmend mit einander erhalten, und durch Abänderung der Dicke, vorzüglich aber der Länge der Strohhälmchen diesen Instrumenten verschiedene mit einander vergleichbare Grade der Empfindlichkeit ertheilen. Zu den empfindlichsten nahm Volta Strohhälmchen von 2 Par. Zoll Länge,

1 Die nähere Mittheilung hierüber findet sich in seinen an Lichtenberg in Göttingen gerichteten Briefen, in Brugnatelli Biblioteca fisica d'Europa und daraus übersetzt unter dem Titel: Alex. Volta meteorologische Briefe mit Anmerkungen des Herausgebers. Leipzig 1793. 8.

und $\frac{1}{8}$ Linien Dicke; doch äufserte ein kleiner Unterschied in der Dicke keinen merklichen Einflufs, indem Strohhälmchen, deren Dicke $\frac{1}{6}$ und $\frac{1}{4}$ Linie betrug, auf 20 Grade nur um einen Grad von einander differirten. Für einen Grad der Scale nahm er $\frac{1}{2}$ Par. Linie Länge. Nimmt man die Strohhälmchen recht dünn, so können sie einander mit ihren Achsen um so näher gebracht werden, ohne sich zu berühren. Für ein weniger empfindliches Elektrometer werden die Strohhälmchen von einer Länge von einem Par. Zoll und von einer verhältnifsmäfsig gröfseren Dicke genommen, auch kann man ihr Gewicht dadurch vermehren, und die Empfindlichkeit des Elektrometers vermindern, dafs die kleinen Metalldrähte, die in sie hineingesteckt werden, um sie mit ihren ringförmigen Enden aufzuhängen, von gröfserer Länge genommen werden. So richtete sich Volta ein zweites Elektrometer zu, an welchem 0,5 Par. Linien Divergenz als 1° gerechnet = 5° des empfindlichsten war, und ich selbst besitze eine solche Folge von 3 Strohhalmelektrometern, wobei die Grade von gleicher Länge in den Verhältnissen von 1; 5 und 20 stehen. Man kann auch diese Strohhalmelektrometer mit einem Henly'schen Quadrantenelektrometer vergleichbar machen, das zur Messung stärkerer Grade von E. bestimmt ist. Volta läfst den in ein Kügelchen sich endigenden Zeiger zwischen zwei graduirten Halbkreisen spielen, wodurch die Lateralrepulsion am besten vermieden wird, die bei der gewöhnlichen Einrichtung statt findet. Sein Vorschlag, solche Quadrantenelektrometer vergleichbar zu machen, ist sehr einfach durch Feststellung zweier *fester Puncte*, und eben damit eines Fundamentalabstandes, welcher in gleiche Theile getheilt wird. Der eine Punct ergiebt sich von selbst; er ist derjenige, bei welchem der Zeiger sich in seiner natürlichen Lage befindet, die bei 0 E. statt findet. Hier wird auch das 0 der Scale angeschrieben. Der zweite feste Punct bei 45° des Halbkreises wird durch einen Grad von el. Anziehung bestimmt, welcher stets von gleicher Stärke erhalten werden kann. Dazu schlägt Volta vor, eine messingene Platte von 5″ im Durchmesser und am Rande 3—4‴ dick zu nehmen, an einen recht empfindlichen Waagebalken aufzuhängen, so dafs sie gerade zwei Pariser Zolle von der Oberfläche einer unterhalb befindlichen, mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden Metallplatte oder auch nur eines recht ebenen Tisches absteht,

und eine Leidner Flasche so weit zu laden, dafs die E., welche sie dieser isolirt aufgehängten Scheibe mittheilt, eine hinlänglich starke Anziehung veranlafst, um dadurch eben das Gewicht von 12 Gran zu überwinden. Diese Spannung der Leidner Flasche giebt dann den zweiten Fundamentalgrad des Quadrantenelektrometers, dessen Zeiger durch Vergröfserung oder Verkleinerung der anhängenden Kugel so zugerichtet werden kann, dafs er dadurch gerade auf 35° gehoben wird. Vermittelst einer Leidner Flasche und eines blofsen Elektrophors, wird sich von einem nicht ganz ungeschickten Experimentator dieser Grad von el. Spannung ganz genau hervorbringen lassen. Alle so eingerichtete Quadrantenelektrometer werden nicht blofs in den Fundamentalgraden, sondern auch in allen übrigen Graden mit einander übereinstimmen. Man kann nun auch ein solches Quadrantenelektrometer mit dem Strohhalmelektrometer comparativ machen, doch bemerkt Volta, dafs das Quadrantenelektrometer nur vom 10ten bis zum 40sten Grade, und wenn von völliger Genauigkeit die Rede ist, nur vom 15ten bis 35sten Grade einen gleichförmigen und mit dem Gange des Strohhalmelektrometers vergleichbaren Gang habe, unterhalb und oberhalb dieser Grade aber Correctionen erfordern, indem es im Anfange viel langsamer steige, und bei den ersten Graden eben so viel E. nöthig sey, um den Zeiger um einen Grad zu heben, als zwischen 15 und 35 um 3 Grade. Indefs meint er, wenn man auf diese durch Versuche auszumittelnde Abweichungen Rücksicht nähme, lasse sich das Henly'sche Quadrantenelektrometer durch seine ganze Scale mit dem Strohhalmelektrometer vergleichbar machen, und wenn man sich auf diese Weise eine Reihe von vier Elektrometern, nämlich zwei Flaschenelektrometer von Strohhälmchen und zwei Quadrantenelektrometer vorrichte, wovon 5 Grade des empfindlichsten = 1° des zweiten, 10 Grade von diesem zweiten = 1° des ersten und 5° von diesem = 1 Grade des zweiten Quadrantenelektrometers seyen, so sey man im Stande, damit 1450 Grade des empfindlichsten Elektrometers zu umfassen, und innerhalb dieser Grenzen die Stärke der E. mit Genauigkeit zu bestimmen.

Als durch die Entdeckung der galvanischen Verhältnisse und insbesondere durch die Erfindung der Volta'schen Säule die Aufspürung und genaue Bestimmung der E. in ihren schwächsten Intensitäten ein neues Interesse für die Physiker erhielt,

wendeten sich auch die Bemühungen derselben wieder auf die Vervollkommnung der Elektrometer, für welche seit Volta nichts weiter geschehen war. Marechaux machte zu diesem Zweck ein sogenanntes Elektromikrometer bekannt[1], welches von dem schon oben beschriebenen durch Parrot verbesserten Bennet'schen Elektrometer in der Hauptsache wenig abweicht. In einem ungefähr 1,5 Z. weiten und 5 bis 6 Z. hohen Glascylinder hängt ein Silberblättchen an einer kleinen Zange herab, die sich höher oder niedriger bringen läſst, je nachdem die Länge des Silberblättchens es erfordert. Auch läſst sich die Vorkehrung, welche die Zange trägt, horizontal bewegen, und das Silberblättchen sich dadurch in beliebige Entfernung von einer Kugel bringen. Durch den gläsernen Cylinder ist ungefähr 1″ über der Glasscheibe, auf der er befestigt ist, ein kleines rundes Loch gebohrt, durch welches das Ende einer Mikrometerschraube geht, die von der Dicke eines starken Federkiels und sehr sorgfältig geschnitten ist. Sie führt ein sehr feines Gewinde, 50 Gänge auf einen rheinländischen Zoll; die Schraubenmutter, um alles Wanken zu verhüten, ist wenigstens $\frac{1}{4}$″ lang. Das Ende dieser Schraube trägt eine kleine Kugel, die erst darauf geschraubt wird, wenn dieses Ende durch die Oeffnung im Glase durchgesteckt ist. Die Schraube selbst trägt eine Scheibe 3,5 Z. im Durchmesser, die in 360 Theile getheilt ist, folglich jede Umdrehung noch in 360 Theile theilt, wodurch man also im Stande ist, die el. Wirkungskreise in Achtzehntausendteln eines rheinl. Zolles zu bestimmen. An dem Gestelle, woran die Mutter der Mikrometerschraube befestigt ist, befindet sich eine kleine Säule, die über die Endscheibe der Schraube hervorragt, und eine Schneide trägt, die den Grad genau bezeichnet.

Dieses Elektrometer dient vorzüglich dazu, um die el. Spannung sowohl einzelner Plattenpaare als auch Volta'scher Säulen zu messen, indem man, nachdem man erst das Silberblättchen mit der Kugel der Mikrometerschraube in Berührung gebracht hat, und dann die eine Metallplatte, oder den einen Pol einer Säule mit der Zange, woran das Silberblättchen hängt, die andere Platte aber, oder den Pol mit der Mikrometerschraube in Verbindung setzt, untersucht, in welcher Entfernung der

1 G. XVI. 115.

Kugel vom Silberblättchen, indem man die Mikrometerschraube vermittelst einer gläsernen Handhabe langsam rückwärts schraubt, noch Anziehung statt findet. Bei einem einzigen Plattenpaare fand MARECHAUX auf diese Art noch eine Anziehung bei einer Entfernung der Kugel vom Silberblättchen um 60—80 Grade der Mikrometerschraube, oder von $\frac{1}{300}$ eines rheinländischen Zolles. MARECHAUX hatte auf die Beobachtungen mit diesem Mikroelektrometer den Satz gegründet, dafs die Volta'sche Säule, namentlich die trockene, in der el. Intensität ihrer Pole unter denselben Umständen wechsle, und gleichsam eine Ebbe und Fluth zeige. Dies veranlafste ERMAN[1] zu einer genauen Kritik dieses Instrumentes, worin er auf mehrere Quellen des Irrthums und der Unsicherheit hinwies, die die Einrichtung dieses Instrumentes mit sich führt, innerhalb deren Grenzen jene Unterschiede der Intensität, auf welche MARECHAUX den erwähnten Satz gegründet hatte, allein schon gelegen seyn könnten. Da nämlich alle jene Vergleichungen wesentlich auf der Sicherheit und Unwandelbarkeit des Nullpunctes jenes Elektrometers beruhen, so werden sie durch die unmerkliche Verrükkung desselben täuschend. Dieser Nullpunct ist nämlich derjenige, wo der frei herabhängende, nicht geladene Metallstreifen den Scheitelpunct der Krümmung des Knopfes eben berührt. Er verändert sich oft schon innerhalb einer Stunde um 20—40 Grade jener oben angeführten Eintheilung, was durch mancherlei zufällige Umstände leicht bewirkt werden kann, da jeder solcher Grad um $\frac{1}{18000}$ eines rheinl. Zolles Verrückung anzeigt. Solche Ursachen können seyn eine auch noch so geringe Abweichung der Unterlage, auf welcher das Instrument steht von ihrer Stellung beim Anfange der Reihe von Beobachtungen, die in einem bewohnten Zimmer leicht bis zu jenem Grade statt finden kann, vorzüglich durch hygrometrische und pyrometrische Veränderungen; ferner die pyrometrische Ausdehnung des Glases und Metalles des Instrumentes selbst, die Erschütterung, die man um mehrere Beobachtungen nach der Reihe anstellen zu können, dem Instrumente geben mufs, um die Adhäsion des Silberblättchens an den Knopf aufzuheben. Von besonders nachtheiligem Einflusse als Quelle von Täuschungen kann aber noch ein Luftstrom werden, der durch die freie ring-

1 Gilb. XXV. S. 18.

förmige Oeffnung an der Seite des Glasgehäuses rund um die Welle eindringen kann, und Erman fand, daſs durch zufällig veranlaſste Bewegungen der äuſsern Luft, selbst durch das Zuschlagen einer Thüre in einem zweiten und dritten Zimmer sehr oft das Anschlagen des Silberblattes bemerkt wurde aus einer Ferne, die das dermalige Maſs der el. Intensität einer Säule, die geprüft wurde, um mehrere hundert Grade übertraf. Endlich muſs auch der nothwendig sehr veränderliche Grad der Isolirung, welcher die äuſsere Fläche des gläsernen Gefäſses, worin der Streifen hängt, gewährt, die Anzeigen des Instrumentes bei demselben Grade el. Intensität sehr veränderlich machen, da die Isolirung durch das Glas nie absolut ist, und das Elektrometer bei der Prüfung der el. Spannung der Pole einer Volta'schen Säule stets nur den Ueberschuſs des nicht durch die Glasfläche abgeleiteten Effects anzeigt. Endlich ist noch zu bemerken, daſs wenn das negative Metallblättchen in einer solchen Entfernung von dem positiven Knopfe hängt, daſs es bei dem gegebenen Zustande der Säule, deren el. Intensität geprüft werden soll, und des Instrumentes nicht bis zur Berührung angezogen werden kann, eine jede zufällige, von auſserwesentlichen Ursachen hervorgebrachte Oscillation des Blattes dieses Anschlagen bewirken wird, indem durch diese Bewegung das elektroskopische Blatt der Anziehungssphäre des geladenen Knopfes näher gebracht wird, und nunmehr aus dieser geringeren Entfernung zum Anschlagen gelangen kann, ohne daſs sich in der absoluten Intensität der geprüften Säule das Mindeste geändert hätte.

Ich hatte mich schon vor Marechaux einer ähnlichen ganz einfachen Einrichtung bedient, um mit Hülfe des Condensators die Stärke der Spannung zu messen, welche die verschiedenen Erreger des Galvanismus, vorzüglich die Metalle und Erze in ihrer Berührung mit einander geben[1], indem ich in einer Glocke von einem Metallstifte, der mit der messingenen Fassung des Halses, auf welche die Condensatorplatte aufgeschraubt werden konnte, in Verbindung war, ein Goldblättchen herabhängen lieſs, welchem eine messingene Stange mit einer vergoldeten Kugel an ihrem Ende, die durch eine seitliche Oeffnung der Glocke hindurch gesteckt ist, gegenüber steht. Diese Stange

1 S. *Galvanismus und Spannungsreihe.*

bewegt sich mit Reibung durch die mit Lederscheiben ausgefütterte Seitenöffnung der Glocke und ist in Viertellinien abgetheilt. Die verschiedenen Entfernungen der Kugel vom Goldblättchen, bei welchen dieses eben anfängt von seiner verticalen Richtung etwas abzuweichen, aber schon einen merklichen Winkel damit macht, endlich an die Kugel anschlägt, geben eben so verschiedene el. Intensitäten an, und es können in dieser Hinsicht auch die kleinsten Verschiedenheiten mit viel größerer Sicherheit und Genauigkeit bestimmt werden, als nach der Größe des Abstoßungswinkels, sey es nun zweier Goldblättchen oder eines einzelnen Goldblättchens in Beziehung auf einen unbeweglichen Metallstab.

Eine sinnreiche Anwendung der Volta'schen Säule um vermittelst eines Goldblättchens nicht bloſs die schwächsten Grade von E. zu entdecken, sondern auch sogleich ohne weitere Proben die Art der untersuchten E. zu bestimmen, brachte zuerst Georg Bernh. Behrens[1] in Vorschlag, welche später nach Erfindung der s. g. trockenen Säule Zamboni's durch v. Bohnenberger wieder aufgefaſst und verbessert, dem nach ihm genannten *Bohnenberger'schen Elektrometer* seinen Ursprung gegeben hat[2]. Dasselbe ist in einem 3,5 Pariser Zolle hohen und 2,5 Pariser Zoll weiten cylindrischen, mit einem messingenen Deckel versehenen Glase enthalten. Zwei trockne el. Säulen, jede aus 400 Scheiben zusammengeleimten Gold- nnd Silberpapiers von 3''' Durchmesser bestehend und in einer gefirniſsten Glasröhre eingeschlossen, sind die eine mit ihrem positiven, die andere mit ihrem negativen Pole an den Deckel angeschraubt, so daſs sie, wenn der Deckel aufgesetzt ist, vertical herunterhängen, und auf dem Deckel ist die Verschiedenheit der beiden anliegenden Pole durch + und — angezeigt. Am untern Ende jeder Säule befindet sich eine etwas vorstehende abgerundete messingene Fassung, welche noch ¼ Z. von dem Boden des Glasgefäſses und einige Linien von dem Rande der Glasröhre absteht, und mit der das untere Ende der Säule in leitender Gemeinschaft sich befindet. Die Achsen der beiden Säulen

---

1 Beschreibung eines neuen Elektrometers in G. XXIII. S. 24.

2 Die erste Beschreibung desselben findet sich in den Tübinger Blättern für Naturwissenschaft und Arzneikunde von Authenrieth und Bohnenberger Bd. I. S. 380, und daraus in Gilb. Ann. Bd. I. S. 190.

sind 1″ 7‴ von einander entfernt, und können einander noch näher gebracht werden. Der elektroskopische Körper ist ein 2,25 Z. langes und 3‴ breites Goldblättchen, welches genau in der Mitte zwischen beiden Säulen und mit ihren Achsen parallel an dem unteren Ende eines Drahtes hängt, der sich in einer innen und aufsen gefirnifsten Glasröhre befindet, welche durch den Mittelpunct des Deckels geht. Dieser Draht ist durch einen Korkstöpsel gesteckt, welcher die Röhre oben verschliefst, und berührt sie besserer Isolirung halber nirgend. Er endigt sich oben mit einer Kugel, auf welche sich eine Condensatorplatte aufschrauben läfst.

Will man dieses Elektrometer gebrauchen, so verbindet man den metallenen Deckel durch einen Draht mit der Erde, und berührt den Knopf des Drahtes mit einem guten Leiter, um sicher zu seyn, dafs er keine freie E. behalten habe. Da die metallenen Fassungen, zwischen denen das Goldblättchen genau in der Mitte hängt, in gleichem Grade die eine positiv, die andere negativ el. sind, so ziehen sie das Goldblättchen mit gleicher Kraft an, bis diesem durch den Draht, an welchem es hängt, E. zugeführt wird. Sogleich nähert es sich der Fassung, welche in dem entgegengesetzten el. Zustande ist, indem es von ihr angezogen, von der andern abgestofsen wird, kommt mit ihr in Berührung, wird dann von ihr abgestofsen, schlägt an die andere Fassung an, und geht so lange zwischen beiden hin und her, bis es sich an eine der beiden Säulen anhängt, von der es durch ableitende Berührung des Drahtes und eine kleine Erschütterung leicht wieder loszumachen ist. Die Art der zu untersuchenden E. zeigt das Zeichen derjenigen Säule auf dem Deckel, deren unterem Ende sich das Goldblättchen zuerst nähert, oder deren unteres Ende bei stärkerer E. zuerst berührt wird. Körper, deren E. stärker ist, nähert man aus einer grofsen Entfernung dem Elektrometer, schwächere elektrische bringt man näher, und nach Umständen mufs man sie sogar in unmittelbare Berührung mit dem Knopfe setzen und auch wohl die Condensation durch Aufschrauben des Condensators zu Hülfe nehmen, um das Goldblättchen in Bewegung zu bringen.

Eine Unbequemlichkeit bei dieser Einrichtung des Elektrometers besteht darin, dafs das Goldblättchen sich leicht an die eine oder andere Fassung und die Glasröhre selbst, welche sich

von dem unteren Pole aus allmälig mit E. ladet, anhängt, und meistens nicht ohne Zerreifsung davon getrennt werden kann. Diesem Nachtheile kann man durch eine kleine Abänderung in der Einrichtung abhelfen, die ich auch bei einigen Elektrometern dieser Art schon ausgeführt gefunden habe, dafs man nämlich die kleinen trockenen Säulen auf den messingenen Boden des Glasgehäuses befestigt, und von ihren nach oben stehenden Polen Metalldrähte, die in runde Plättchen sich endigen, gehen läfst, zwischen denen das Goldblättchen mit seinem untern Ende sich befindet. BECQUEREL[1] hat durch folgende Abänderung dem erwähnten Nachtheile des Anhängens an das Glas zu begegnen und die Empfindlichkeit des Instruments noch zu erhöhen gesucht. Anstatt zweier Zambonischer Säulen bedient er sich blofs einer einzigen, die auf einem hölzernen Untersatze in horizontaler Lage befestigt ist. An jedem ihrer Pole ist in verticaler Richtung eine längliche Metallplatte von 7—8 Centimetern (ohngefähr 3 Zoll) Länge befestigt, und das Goldblättchen zwischen diesen beiden Platten aufgehängt. Da das Goldblättchen ihnen auf diese Weise alle seine Puncte darbietet, so mufs die Einwirkung, die es von denselben erfährt, weit beträchtlicher seyn, als wenn es blofs mit seinem untern Ende der Wirkung der Pole zweier Säulen ausgesetzt ist. Die Empfindlichkeit dieses Apparates ist bei der angegebenen Einrichtung so grofs, dafs eine mit Tuch geriebene Glasröhre bei trockenem Wetter schon darauf wirkt, wenn man sie nur in einer Entfernung von 8 bis 10 Fufs darüber hält, während bei der Bohnenberger'schen Einrichtung diese Wirkung erst in einer Nähe von 3 Fufs merklich wird. Der el. Zustand der Haare zeigt sich schon auf mehrere Fufs Entfernung von Einflufs darauf, und es ist daher unerläfslich, diesem Einflusse vorzubeugen, wenn man sich mit ins Feine gehenden Untersuchungen beschäftigt. SCHWEIGGER fügt in einer Anmerkung zu dieser Verbesserung BECQUEREL's einen Vorschlag hinzu, dieses Elektrometer für Reisen zur Untersuchung der Luftelektricität tragbar zu machen, der indessen nicht ganz klar ist. Mir scheint dieser Zweck einigermafsen erreicht werden zu können, wenn man das Goldblättchen mit einer oben und unten offenen messingenen Röhre umgäbe, die auf und abgeschoben werden kann, und die beim Gebrauch

1 Schweigg. J. N. R. XII. S. 73.

heraufgezogen würde, um dem Goldblättchen seine freie Bewegung zu verschaffen.

Eine andere Classe von Elektrometern, als die bisher betrachteten, hat mehr ausschliefslich die Absicht, die Stärke der el. Funken und Erschütterungsschläge zu messen, oder wenigstens Funken und Schläge von einer gewissen vorgeschriebenen Stärke hervorzubringen. Von diesen Elektrometern ist das nach einem ersten sehr wenig zweckmäfsigen Vorschlage Canton's, durch die Anzahl der Funken, welche eine leidner Flasche beim allmäligen Entladen giebt, die Stärke dieser Ladung zu messen, von Lane[1] angegebene s. g. Ausladeelektrometer auch jetzt noch in häufiger Anwendung. (Fig. 143.) An den Knopf F einer Verstärkungsflasche wird in horizontaler Richtung ein gläserner, wohlüberfirnifster Stab FD angebracht, der in die messingene Röhre D eingekittet ist. Aus D geht ein starker Messingdraht senkrecht hervor, dessen Ende so hoch hinaufreicht, als der Mittelpunct des Knopfes B steht, der noch über dem Knopfe F auf dem weiter hinauf reichenden Stabe der Flasche befestiget ist. Auf diesem Drahte ruht eine messingene Hülse, durch welche man das Stäbchen CE, welches an dem einen Ende den Knopf C, am andern Ende den Ring oder Haken E hat, vor- und rückwärts schieben kann, um den Knopf C in jede beliebige Entfernung von dem Knopfe B zu bringen. Auf dem Stäbchen CE wird eine Eintheilung angebracht, um die Entfernung des Knopfes B und C desto genauer abmessen zu können. Die Flasche sey so an den ersten Leiter gesetzt, dafs sie ihn mit dem Knopfe B berühre, der Knopf C stehe einen halben Zoll von B ab, und von E bis an die äufsere Belegung bei I sey eine leitende Verbindung gemacht. Wird unter diesen Umständen die Elektrisirmaschine in Bewegung gesetzt, so ladet sich die Flasche. Sobald aber die Ladung so stark ist, dafs sie durch die Entfernung B C schlagen kann, so erfolgt ihre Entladung. Fährt man fort, die Maschine zu drehen, so ladet sich die Flasche auf's neue, bis die Entladung wieder bei der vorigen Stärke der Ladung erfolgt. So kann man mehrere Schläge von immer gleicher Stärke erhalten und durch Körper führen, die in die leitende Verbindung gebracht werden. Sollen die Schläge stärker werden, so entfernt man C weiter von B. Es kann dieses Aus-

---

1 Phil. Transact. Vol. LVII. S. 45.

lade-Elektrometer auch ein abgesondertes Stück für sich ausmachen, dessen Glasröhre F an ihrem anderen Ende in einen messingenen Knopf endigt, der in einen kleinen Stiel ausgeht, den man in eine dazu passende Hülse des Knopfes jeder beliebigen Leidner Flasche stecken kann. Vorzüglich nützlich ist dieses Instrument um die Stärke der el. Erschütterungsfunken bei ihrer arzneilichen Anwendung mit der gröfsten Genauigkeit abzumessen, und mit den kleinsten Graden derselben den Anfang zu machen [1].

Noch gebräuchlicher, vorzüglich zur Bestimmung der Stärke der Ladung von Batterieen ist das s. g. *Adams'sche Ladungselektrometer*, das aber mit mehr Recht das Brook'sche genannt zu werden verdient, da John Brook der eigentliche Erfinder desselben ist [2]. Nach der von Brook angegebenen Einrichtung ist dasselbe bestimmt, die Stärke der abstofsenden Kraft an einer Leidner Flasche oder Batterie, aber auch an einem elektrisirten Conductor, sowohl in Granen als in Graden, die auf einem Zifferblatte verzeichnet sind, anzugeben. Die Arme g. 1 und g. 2 nebst den Kugeln C und E sind alle hohl, und von dünnem Messingblech verfertigt, damit sie so leicht als möglich ausfallen. Sie sind beide beweglich, während der etwas gekrümmte Arm g. 3 mit der Kugel F und der Arm g. 4 mit der Kugel G unbeweglich sind. Der Arm g. 2 mit seiner Kugel E stellt eigentlich eine Schnellwaage vor, an welcher ein breiter Ring a verschiebbar ist. Innerhalb der hohlen Kugel D ist die Axe dieser Schnellwaage und der kürzere Arm, woran sich ein Bleigewicht befindet, das mit dem langen Arme und der Kugel daran nebst dem Schieber, wenn er eine bestimmte Lage am Arme hat, genau im Gleichgewichte ist, so dafs der Arm g. 2 in horizontaler Lage sich befindet, und die Kugel E ohne Gewicht und Druck auf der Kugel G ruht. Der Stand des Schiebers in dieser Lage wird mit 0 bezeichnet. Dann bringt man, nachdem man

Fig. 144.

---

1 Vergl. *Elektricität, medicinische.*

2 Eine erste Beschreibung davon findet sich in dem 72sten Bande der Philos. Transactions, hierauf hat Adams in seinem Essay on electricity (Versuch über die Elektricität S. 221) eine Abbildung davon geliefert, doch findet sich die ausführlichste und durch zwei Kupfertafeln erläuterte Beschreibung desselben in einer eigenen Schrift Brook's. Joh. Brook's vermischte Erfahrungen über E. u. s. w. übers. von Dr. Karl Kühn. Leipz. 1790.

die Kugel G mit ihrem Arme vorher abgeschraubt hat, unter die Kugel E eine Waagschale, schiebt den Schieber a bis ans Ende vor, und untersucht, wie viele Grane in der andern Waagschale nöthig sind, um die Kugel E eben in die Höhe zu heben. Indem man ferner einen Gran nach dem andern herausnimmt, und jedesmal durch einen Versuch bestimmt, wo der Schieber stehen müsse, um gerade wieder das Gleichgewicht hervorzubringen, oder die Kugel E eben zu erheben, und an dem Rande des Schiebers jedesmal einen Strich auf dem Stiele macht, erhält man eine Eintheilung in Granen, welche den Druck oder das Gewicht des Schiebers in seinen verschiedenen Lagen von 0 bis zur Kugel, wo z. B. 60 Grane zur Wiederherstellung des Gleichgewichts nöthig gewesen waren, anzeigt. Theilt man nun dem Instrumente E. mit, so wird die Kugel E mit ihrem Arme g. 2 abgestofsen werden, und die Gröfse der abstofsenden Kraft in Granen angegeben seyn, durch den Stand des Schiebers, bei welchem die Kugel eben noch gehoben wird, so dafs wenn z. B. der Schieber bei 30 steht, die abstofsende Kraft, die zwischen den beiden Kugeln E und G und den Armen g. 2 und g. 4 thätig ist, gerade 30 Grane beträgt. Der andere bewegliche Arm g. 1 und seine Kugel C wird zugleich von dem festen Arme g. 3 und seiner Kugel F abgestofsen, wenn der Arm g. 2 durch Verbindung mit einem elektrisirten Körper in die Höhe sich hebt. Dieser Arm g. 1 ist in den unteren Theil der Axe eines Rades eingeschraubt, das in ein Getriebe eingreift, an welchem sich der Zeiger des Zifferblattes befindet. An dem obern Theile der nämlichen Axe wird ein Bleigewicht befestigt, welches dem Arme g. 1 und seiner Kugel das Gegengewicht hält, und wenn die abstofsende Kraft der E. zu wirken aufhört, den Arm jedesmal in seine vorige Lage zurückbringt. Das Verhältnifs der Zähne des Rades und der Einschnitte des Getriebes ist so getroffen, dafs der Zeiger sich einmal durch die Bewegung des Arms g. 1 völlig um seine Axe herumdreht, wenn sich die Kugel C durch einen Bogen von 90 Graden bewegt. In so viele Grade ist auch das Zifferblatt eingetheilt. Mit dieser Eintheilung, die auf dem äufsern Kreise angebracht ist, und auf welche der längere Arm des Zeigers hinweiset, kann man auch eine Eintheilung correspondirend machen, welche die abstofsende Kraft in Granen mifst. Für jeden Winkel der Divergenz des beweglichen Arms g. 1 und seiner Kugel C ist ein gewisser

Stand des Schiebers nöthig, um die Schnellwaage gerade in horizontaler Richtung zu halten, so daſs die Kugel von G weder absteht, noch auf dieselbe drückt. Die Menge von Granen, welche der Schieber in seiner jedesmaligen Lage unter der angegebenen Bedingung anzeigt, ist das Maſs für die abstoſsende Kraft. Die Zahl, welche diese Menge anzeigt, trägt man auf den innern Kreis da auf, wo dann der kürzere Arm des Zeigers, der sich auf gleiche Weise mit dem längeren umdreht, jedesmal steht. Hat man auf diese Weise die Eintheilung des Kreises nach Granen regulirt, so kann man die Schnellwaage mit dem Arme g. 4 der an die Vorrichtung angeschraubt ist, auch ganz wegnehmen, und sich bloſs des andern Haupttheiles, der im Wesentlichen nichts anders, als ein *Quadranten-Elektrometer* ist, bedienen. So sind auch die nach Adams benannten Elektrometer, wie sie bei Batterie-Versuchen gebraucht werden, eingerichtet, und in diesem Falle muſs die Kugel F an ihrem untern Theile mit einem kurzen messingenen Stiele versehen seyn, um das Elektrometer bequem auf die Kugel einer Flasche aufstecken zu können. Statt dessen kann das Elektrometer auch zum Aufstecken auf den Knopf einer Flasche seitwärts mit einem Ansatze an das Uhrgehäuse bei A versehen seyn, der mit einem in einem Charniere beweglichen Stiele verbunden ist. Bei diesem Aufstecken ist es jedoch nothwendig, daſs das ganze Instrument hinlänglich hoch über der Flasche stehe, damit die abstoſsende Kraft auf g. 1 und ihre Kugel C von keiner andern Seite aus wirke, als von g. 3 und ihrer Kugel F. Man sieht leicht ein, daſs solche Elektrometer nur dann vergleichbar und in ihrer Sprache übereinstimmend sind, wenn die Dimensionen und Gewichte aller ihrer Theile vollkommen mit einander übereinstimmen, was allerdings in der Ausführung mit groſsen Schwierigkeiten verbunden seyn dürfte. Indeſs sind sie für den einzelnen Experimentator bei Batterieversuchen sehr brauchbar, da sie für eine gegebene Gröſse von belegter Glasfläche die verschiedenen festen Puncte von Spannung anzeigen, bei welchen durch die Entladung derselben bestimmte Wirkungen hervorgebracht werden können. So wie nun das Elektrometer ohne die Schnellwaage gebraucht werden kann, so kann man sich auch bloſs dieser letzteren bedienen, vorzüglich um die abstoſsende und anziehende Kraft, welche der erste Leiter einer Elektrisirmaschine ausübt, zu messen. Die Hol-

Fig. 145. ländischen Physiker Deimann und Paets van Troostwyk haben[1] eine bequeme Einrichtung dazu angegeben. Die Schnellwaage cgd welche hier ein Ganzes für sich ausmacht, ruht nämlich noch auf dem Theile ehf, der ebenfalls aus zwei hohlen Kugeln und einem hohlen Cylinder von Messing, von eben der Gröfse als bei der Waage besteht (die Kugeln hatten 4 Zoll, der hohle Cylinder eine Länge von 10 Zoll und einen Durchmesser von 0,75 Zoll). Die eine von diesen Kugeln, nämlich e ist oben und unten mit einem Messingdrahte versehen, in welchen Schraubengänge geschnitten sind, in den obersten ist die Kugel C der Waage geschraubt, der untere dient dazu, um das Elektrometer auf dem Conductor oder auf einem hölzernen Gestelle zu befestigen. Uebrigens ist cgd so mit efh verbunden, dafs beide Cylinder g und h sich in einer Verticalebene befinden, und die Kugel d, wenn sie durch Verschiebung des Ringes schwerer geworden ist, auf der Kugel b aufliegt. Um das Elektrometer auf den Conductor zu setzen, bedienten sie sich eines messingenen Plättchens, das so gebogen ist, dafs es an den Conductor anschliefst; auf dieses ist die Kugel e des Elektrometers geschraubt. In dieser Lage dient dasselbe zur Bestimmung der abstofsenden Kraft. Wenn die Anziehung untersucht werden soll, so wird das Elektrometer auf seinen hölzernen Fufs gesetzt, und man stellt es mit der Kugel d in einer gewissen Entfernung gerade unter eine Kugel von eben der Gröfse, die, damit man die anziehende und die abstofsende Kraft mit Kugeln von gleicher Gröfse untersuchen kann, absichtlich unten an die Kugel am Ende des Leiters gesteckt wird. In beiden Fällen untersucht man erst, wie weit der Ring oder das Gewicht i von c nach d verschoben werden kann, ohne dafs die Kugel d zu schwer wird, um von der Kraft, die der Conductor bei dem Umdrehen der Elektrisirmaschine erhält, noch aufgehoben zu werden; die Zahl, bei welcher der vordere Rand des Ringes steht, zeigt dann in Granen die abstofsende oder anziehende Kraft des Conductors an. Bei der Untersuchung der Stärke ihrer Elektrisirmaschine[2] durch eine Schnellwaage von den oben beschriebenen Dimensionen, erhielten die holländischen Physiker für die abstofsende positive Kraft 235 Gr.

---

1 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. S. 56 ff.

2 Die Beschreibung derselben s. *Elektrisirmaschine*.

für die negative Kraft 122 Gr., für die Anziehung durch die positive Kraft auf $\frac{1}{4}$ Zoll Abstand 60 Gr. und auf $3\frac{1}{2}$ Zoll 425 Gr., für die anziehende negative Kraft auf $\frac{1}{4}$ Zoll Abstand 60 Gr. und auf 2 und $2\frac{1}{2}$ Zoll Abstand 530 Gran. Ueberhaupt fanden sie, daſs von dem Abstande von $\frac{1}{4}$ Zoll bis auf eine gewisse Entfernung vom Conductor die anziehende Kraft bei dem negativen Conductor gröſser als bei dem positiven war, über diese Entfernung hinaus dagegen die positive Kraft wieder über die negative das Uebergewicht bekam. Die genannten holländischen Physiker haben auch noch[1] die Beschreibung und Abbildung eines von Cuthbertson erfundenen *Ladungselektrometers* mitgetheilt, das aber nur darin von dem Adams'schen abweicht, daſs die Kugel, welche durch den Abstoſsungswinkel die Gröſse der el. Spannung, und damit der Ladung anzeigt, statt in einer verticalen, in einer horizontalen Ebene sich bewegt. Noch weniger Eigenthümliches hat eine von eben demselben[2] angegebene Vorrichtung, in welcher Henly's Quadranten-Elektrometer, Lane's Auslade-Elektrometer und Brook's el. Waage gleichsam mit einander vereinigt sind.

Wirft man nochmals einen Rückblick auf alle bisher beschriebene Elektrometer, so ergiebt sich, daſs wir bis jetzt noch ein Instrument entbehren, welches den Physikern dieselben Dienste wie das Barometer, Thermometer oder auch nur das Hygrometer leistete, ein Instrument, das mit hinlänglicher Genauigkeit die Intensitäten der E. so abzumessen im Stande wäre, daſs die Anzeige desselben einen ganz bestimmten Werth hätte, ein Instrument ferner, für dessen Verfertigung die Regeln so fest bestimmt wären, daſs geschickte Mechaniker an den verschiedensten Orten darnach übereinstimmende Werkzeuge verfertigen könnten.

Wenn auch das Gesetz, nach welchem die Anziehung und Abstoſsung elektrisirter Körper durch die Entfernung bestimmt wird, mit vollkommener Sicherheit ausgemacht wäre, so wird es in der Ausübung doch fast unüberwindliche Schwierigkeiten machen, in der groſsen Scale elektrischer Intensitäten, von den leisesten Spuren, durch welche das empfindlichste Goldblattelektrometer eben noch in Bewegung gesetzt wird, bis zu der die-

1 In der mehrmals angeführten Schrift, S. 66.
2 Nicholson's Journ. of natur. Philos. Vol. II. p. 525.

selben mehrere Millionenmale übertreffenden el. Spannung des auf das Maximum elektrisirten ersten Leiters einer sehr kräftigen Elektrisirmaschine, wie z. B. der meinigen, die Funken von 18 Par. Zoll schlägt, die mannigfaltigen Bedingungen bei den verschiedenen, zur Messung dieser Intensitäten nöthigen Instrumenten, die auf ihre Sprache Einfluſs haben, auf eine gleiche und übereinstimmende Art zu erfüllen. Schon ein kleiner Unterschied z. B. in der Beweglichkeit der Strohhälmchen in ihren Aufhängungspuncten wird, wenn auch in Absicht der Länge und Dicke dieser Strohhälmchen, der Form des Gefäſses, der obern Fassung desselben, der Ableitungsstreifen zwischen zwei solchen Elektrometern die vollkommenste Uebereinstimmung statt fände, doch die Anzeigen derselben merklich von einander abweichen machen. Glücklicher Weise reichen bei der beständigen Fluctuation der E., deren Intensität in jedem Processe fast unaufhörlich wechselt, in deren Sphäre es keine so feste Puncte giebt, wie z. B. in derjenigen der Wärme, durch die irgend ein wichtiger Proceſs der Natur und Kunst wesentlich bedingt wäre, die annähernden Bestimmungen, welche uns unsere Elektrometer in ihrem gegenwärtigen Zustande geben, wenigstens für den praktischen Gebrauch zu, und bei aller ihrer Unvollkommenheit haben doch diese Instrumente wesentlich die Fortschritte der Elektricitätslehre befördert, wozu insbesondere der Artikel *Galvanismus* die Belege liefern wird[1].

P.

Elektrometrie

bezeichnet im Allgemeinen das Messen der Elektricität, und geschieht diesemnach mit denjenigen Werkzeugen, welche im

---

1 Zur Literatur S. J. A. de Lüc Neue Ideen über Meteorologie. Erster Theil. Berlin u. Stettin 1787. gr. 8. S. 306 ff.

Alex. Volta's meteorologische Briefe, aus dem Ital. mit Anmerkungen des Herausgebers. Erster Band. Leipzig 1793. 8.

Cavallo's Vollständige Abhandlung von der E. Leipz. 1797. II. Thl. S. 175.

Adams's Versuch über die E.

Heidmann's vollständige Theorie der E. Wien 1799. I. Thl. Drittes Hauptstück. Von den Elektrometern. S. 63.

Kühn's Geschichte der medicinischen und physikalischen E. S. 154 ff.

Priestley Geschichte d. E. übers. durch Krünitz. S. 89. 343 ff.

vorhergehenden Artikel beschrieben sind. Daselbst ist aber gleichfalls gesagt, daſs verschiedene sogenannte Elektrometer nicht eigentlich diesen Namen verdienen, sondern billig nur *Elektroskope* heiſsen müſsten, welches dann die Einführung eines bis jetzt nicht gangbaren Namens, *Elektroskopie*, zu erfordern scheint. Weil aber hierunter nichts anders gehören würde, als die Untersuchung der Anwesenheit von Elektricität überhaupt, so bedarf es weder dieser besonderen Bezeichnung, noch auch einer Erläuterung derselben. Weil ferner die galvanische Elektricität mit der gemeinen Reibungselektricität nach der jetzt bestehenden Ansicht der Physiker ihrem Wesen nach identisch ist, die Magnetnadel aber die geringsten Spuren von jener anzuzeigen und die Stärke derselben zu messen benutzt wird, so könnte auch das Verhalten dieser letzteren bei der Untersuchung der Elektrometrie mit berücksichtigt werden. Man hat dem hiernach construirten Werkzeuge aber den Namen *Galvanometer* gegeben, und da das Verhalten desselben mit dem der feinsten Elektroskope im Wesentlichen zusammenfällt, so wird es billig hier nicht besonders berücksichtigt. Endlich haben einige Elektrometer in ihrer Construction das Mittel, die Art der Elektricität, ob sie + oder — sey, jedesmal sogleich anzuzeigen. Man könnte daher die Sprache dieser Werkzeuge und die Mittel, deren man sich bedient, um auch vermittelst der übrigen die Art der vorhandenen Elektricität zu erforschen, unter die Elektrometrie rechnen. Weil dieses aber kein eigentliches Messen erfordert, und das Verfahren bei den verschiedenen Elektrometern schon angegeben ist, so wird es hier billig übergangen. Die Elektrometrie ist sonach auf zwei Stücke beschränkt, nämlich zuerst auf die Ausmessung der *absoluten Stärke* der Elektricität, und zweitens auf die Untersuchung der *relativen Wirkungsfähigkeit* derselben mit Rücksicht auf die verschiedene Entfernung von dem eigentlichen Sitze derselben.

A. Messung der absoluten Stärke der Elektricität.

Insofern die Elektricität noch nicht für sich dargestellt ist, kann es auch keine absolute Messung derselben geben, vielmehr setzt man sie der Stärke ihrer Wirkungen proportional, wie dieses auch bei der Ausmessung der Wärme der Fall ist. Die verschiedenen Arten ihrer Messung müssen sich sonach auf ihre

Wirkungen beziehen, und lassen sich daher am besten an diese letzteren anknüpfen.

1. Eine vorzügliche Wirkung der Elektricität ist das *Anziehen* und *Abstoſsen leichter Körper*. Hierauf beziehen sich die sämmtlichen bisher bekannten Elektrometer, bei deren Beschreibung schon im vorigen Artikel im Allgemeinen gezeigt ist, auf welche Weise man die absolute Stärke der Elektricität aus dem Gewichte der abgestoſsenen oder angezogenen Körper unmittelbar, oder aus der Gröſse des Elongationswinkels derselben mittelbar findet. Weil dieses aber in den meisten Fällen mit Rücksicht auf die Entfernung zu geschehen pflegt, und auſserdem die Methode und die Gesetze bei beiden Messungsarten die nämlichen sind, so wird diese Frage am zweckmäſsigsten im zweiten Theile dieser Untersuchungen erörtert.

2. Hiermit zusammenhängend sind die *mechanischen Wirkungen* der Elektricität, die sich durch das Zerschlagen, Zerreiſsen, Durchbrechen und Verschieben der verschiedenen Körper mit einer oft erstaunenswürdigen Kraft zeigen. Die hierher gehörigen Erscheinungen und die wenigen bisher gemachten Versuche, die Gröſse der hierzu erforderlichen Kraft zu bestimmen, werden unter dem Artikel *Flasche* mitgetheilt werden. Am auffallendsten sind diejenigen Erscheinungen, welche der Blitz darbietet[1], ohne daſs man bisher die zu den Wirkungen erforderliche Kraft genau zu messen vermochte, wie dieses aus den Bedingungen derselben leicht erklärlich ist.

3. Eine dritte Wirkung der Elektricität ist das *Glühendmachen* und *Schmelzen von Metalldrähten*, womit das Entzünden verbrennlicher Körper zusammenhängt. Sofern hierbei eine Messung der Elektricität statt findet, geschieht sie meistens durch die Länge und Dicke der geschmolzenen oder glühend gemachten Stahldrähte.

4. Endlich äuſsert sich die Elektricität auch als *chemisch wirkende Potenz*, und zeigt insbesondere bei der Volta'schen Säule eine ausnehmende zerlegende Kraft. Eigentliche Messungen der hierbei wirksamen Elektricität finden überall kaum statt,

---

1 Vergl. *Blitz*. Eins der auffallendsten Beispiele habe ich so eben in Poggendorf's Annalen bekannt gemacht.

aufser dafs man die Stärke der gebrauchten Apparate nach der Menge der Gase bestimmt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Zerlegung des Wassers gebildet werden. Die unter die beiden letzteren Abtheilungen gehörenden Erscheinungen und die Arten der Messung, welche sich im Allgemeinen nur auf eine Vergleichung der gebrauchten Apparate bezieht, werden an den geeigneten Orten abgehandelt.

B. Messung der relativen Wirksamkeit der Elektricität mit Rücksicht auf den Abstand von dem Körper, auf welchem dieselbe angehäuft ist.

Ungleich ausführlicher und mehr wissenschaftlich ist diese zweite Frage von jeher behandelt, weil sie nicht blofs die Stärke der Wirksamkeit einer aus ihrem Verhalten erkennbaren Potenz, sondern zugleich die individuelle Art ihrer Existenz und ihrer Verbreitung im Raume zum Objecte ihrer Untersuchung macht, und hierdurch Auskunft über das Wesen derselben zu geben verspricht. Sie macht daher das eigentliche Object der Elektrometrie aus, und bedient sich als Werkzeuge der im vorigen Artikel beschriebenen Elektrometer. Letztere sind blofs auf die Eigenschaft der Abstofsung und Anziehung der Körper durch Elektricität gegründet, und würden allgemeine Mefswerkzeuge für die Stärke der elektrischen Wirksamkeit seyn, wenn die Kraft der Elektricität ihrer anziehenden und abstofsenden Kraft ohne Ausnahme direct proportional wäre. Dieses findet man aber namentlich bei der galvanischen Elektricität nicht bestätigt, welche oft die heftigsten Wirkungen der Erhitzung, chemischen Zerlegung und Hervorrufung des Magnetismus mit einer sehr geringen Repulsionskraft verbindet. Noch immer bleibt die Erklärung dieses Unterschiedes zwischen der durch Reibung und der durch Berührung heterogener Metalle erzeugten Elektricität schwierig, indefs ist hierüber an den geeigneten Stellen schon geredet. Die Elektrometrie bezieht sich daher für jetzt noch meistens auf die Stärke der Spannung, welche die durch Reibung erzeugte Elektricität in ungleichen Abständen zeigt, und man hat schon verschiedene Versuche gemacht, die hierbei obwaltenden Gesetze durch theoretische Untersuchungen und durch die Erfahrung auszumitteln. Hierher gehören unter an-

dern die Bemühungen von Aepinus[1], Volta[2], de Lüc[3] und Späth[4]; allein niemand hat diesen Gegenstand weiter gefördert als Poisson durch seine theoretischen Untersuchungen[5] und Coulomb[6] durch seine unvergleichlichen Versuche, denen Biot[7] in seiner Darstellung gefolgt ist. Eine eben so gründliche als vollständige kritische Prüfung der bisherigen Versuche aber, das Gesetz der elektrischen Anziehungen und Abstofsungen aufzufinden, hat neuerdings Egen[8] geliefert, so wie Kämtz[9] eine geometrische Untersuchung des Gegenstandes, deren verdienstliche Arbeiten ich bei meiner Darstellung hauptsächlich benutzen werde. Zu mehrerer Vollständigkeit des Ganzen und einer leichteren Uebersicht schien es mir aber am räthlichsten, die Elektrometrie nach der Beschaffenheit der gebrauchten Elektrometer abzuhandeln, zuvörderst aber noch folgende theoretische Betrachtungen vorauszuschicken.

Die elektrische Anziehung und Abstofsung wird nur unter denjenigen Umständen gemessen, wenn die Elektricität über gewisse Körper verbreitet ist. Die letzteren sind entweder Leiter oder Nichtleiter derselben, und bei beiden findet man im Zustande der Ruhe die Elektricität auf ihrer Oberfläche haftend, woselbst sie durch den Druck der Luft zurückgehalten wird. Inzwischen ist ihr Verhalten bei Nichtleitern etwas verschieden, insofern sie denselben durch eigene Anziehung weit stärker anhängt, als den Leitern. Die Richtigkeit dieses Satzes ergiebt sich aus dem Verhalten luftleerer gläserner Röhren, Glocken u. s. w., indem die ihnen durch Reibung oder Mittheilung gegebene Elektricität sich unter günstigen Umständen längere Zeit an ihnen erhält, und ihr Daseyn durch fortgesetztes Leuchten kund giebt. Ueberhaupt ist nicht zu bezweifeln, dafs die Elek-

---

1 Tentamen theor. electr. et magn. p. 88.

2 A. Volta meteorol. Briefe a. d. Ital. Leipz. 1793. 8.

3 Neue Ideen über Meteorologie. Berl. u. Stettin 1787. I. 306.

4 Abhandlung über Elektrometer. Nürnb. 1791. 8. Gren Journ. IV. 361.

5 Mém. de l' Institut. année 1811. I. p. 1 ff. II. p. 163.

6 Mém. de l' Acad. 1787. p. 430.

7 Traité II. 224.

8 Poggendorf's Annalen V. 199 u. 281.

9 Dissertatio de legibus repulsionum electricarum geometricis Halae 1823.

tricität gleichfalls einer Anziehung durch die Körper aller Art folge, welche Kraft indefs durch die eigene Repulsion ihrer Theile gegen einander, und das Bestreben derselben, sich mit ihrem Entgegengesetzten zu neutralisiren, modificirt wird. Sie ist ferner auf nichtleitenden Körpern nicht frei beweglich, kann daher auch, ohne Rücksicht auf die Gestalt derselben, an den verschiedenen Stellen ungleich angehäuft seyn, und die Nichtleiter sind daher weniger geeignet, das Verhalten derselben im Allgemeinen zu zeigen. Noch kommt ein Unterschied in Betrachtung, ob nämlich die Nichtleiter flache Scheiben sind, auf deren beiden Seiten gleichartige oder entgegengesetzte Elektricitäten sich angehäuft befinden. Im ersteren Falle haben beide freie Spannung, aber es tritt der merkwürdige Umstand ein, dafs die Elektricität nur an der einen Seite weggenommen werden darf, um auch an der andern zu verschwinden, welches aus einer Neutralisirung durch die entgegengesetzte erklärlich wird, und sehr für den Dualismus entscheidet. Sind dagegen auf beiden Seiten einer flachen Scheibe die entgegengesetzten Elektricitäten angehäuft, so binden sie sich in ihren einzelnen Elementen gegenseitig so stark, dafs sie keine bedeutende Spannung zeigen, und sich daher zu Versuchen über die elektrischen Repulsionsgesetze nicht gut eignen. Man kann die Belegungen einer Glastafel bei der sogenannten zerlegbaren Flasche vom Glase trennen, beide durch Berührung neutralisiren, selbst die Glastafel nach einander auf beiden Seiten in einzelnen Puncten berühren, dann die Flasche wieder herstellen, und wird sie geladen finden. Sind aber die Belegungen mit dem Glase verbunden, und ist eine derselben leitend mit der Erde in Verbindung gesetzt, so zeigt die andere insofern eine freie Spannung der Elektricität, als sie das Bestreben hat, sich mit der entgegengesetzten zu neutralisiren, und kann also in der Gestalt der bekannten leidener Flasche zur Untersuchung der Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstofsung mit gehöriger Vorsicht angewandt werden. Ob aber die Nähe der entgegengesetzten elektrischen äufseren Belegung, und die Wirkungssphäre der letzteren auf die Vertheilung der Elektricität, am Knopfe der Flasche einen störenden Einflufs ausübe, dieses ist, so viel ich weifs, noch nicht genügend untersucht. Auf allen Fall aber kann unter den verschieden gestalteten *Nichtleitern* nur die Flasche oder ein geriebener idioelektrischer Körper, als etwa

eine Glasröhre oder Siegellackstange, unter den erforderlichen Bedingungen und Vorsichtsmaſsregeln zu diesem Zwecke, jedoch nicht mit völliger Sicherheit, benutzt werden.

Etwas verschieden hiervon ist das Verhalten der leitenden Körper, namentlich der Metalle, welche allein zu berücksichtigen hier vollkommen genügt. Es ist als ein Axiom in der Elektricitätslehre eingeführt, daſs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Leiter befinde. Poisson[1] sagt hierüber, Coulomb habe durch directe Versuche bewiesen, daſs kein Atom der Elektricität im Innern der Leiter bleibe, auſser etwa der natürliche Sättigungszustand derselben. Dieser Satz in absoluter Strenge und Allgemeinheit genommen würde im offenbarsten Widerspruche mit den erwiesensten Thatsachen stehen. Wenn der Blitz dicke Metalldrähte schmelzt, Bäume in Splitter zerspaltet, die Reizbarkeit der Nerven zerstört und die Frucht in der Mutter tödtet[2], ohne die letztere zu beschädigen, so ist es wohl unmöglich, sich vorzustellen, daſs dieses alles durch eine bloſse Verbreitung der Elektricität auf der Oberfläche geschehe. Inzwischen liegt dieses nicht in Coulomb's Behauptung. Man muſs nämlich wohl unterscheiden, ob die Elektricität einen Leiter *frei durchströmt*, oder auf einem isolirten sich *verbreitet*. Wenn dieselbe einen vollkommenen Leiter frei durchströmt, insbesondere wenn bei einer Flasche die positive sich mit der negativen zur Neutralisation verbindet, so ist wohl keinem Zweifel unterworfen, daſs sie in der Masse der Leiter fortströmt, womit auch Davy's Versuche und viele Erscheinungen des Elektromagnetismus übereinstimmen[3]. Hängt man über den leitenden Draht, welcher die beiden Belegungen einer Flasche verbindet, einen Faden mit einem Korkkügelchen an jedem Ende so, daſs beide sich berühren, so werden sie beim Entladen der Flasche gar nicht, oder nur dann unmerklich aus einander fliegen, wenn die Annäherung zum anderen Pole der Flasche langsam geschieht. Die kräftigste Elektricität äuſsert also beim Durchströmen des vollkommenen Leiters auf der Oberfläche desselben keine merkliche Spannung.

Ganz etwas anderes ist es aber, wenn einem Leiter freie

---

1 a. a. O. I. p. 3.

2 Vergl. *Blitz; Elektricität, medicinische.*

3 Vergl. *Elektromagnetismus* II. und *Theorie* a. E.

Elektricität mitgetheilt ist. Abstrahiren wir hierbei vorläufig von der Form der Körper und ihrem Einflusse auf die Vertheilung der Elektricität auf denselben[1], so folgt aus dem Bestreben der Elektricität nach Neutralisation mit ihrem Entgegengesetzten, welches sie im Innern der Körper nicht findet, desgleichen aus der Repulsion ihrer einzelnen Theile gegen einander, daſs sie sich auf der Oberfläche anhäufen muſs, und von hieraus zerstreuen würde, wenn die Nichtleitung der Luft dieses nicht hinderte. Beobachtet man im Finstern das Ausströmen der Lichtbüschel, welche von einer Spitze ausgehend sich kegelförmig mit abnehmend schwächerem Lichte ausbreiten, so giebt diese Erscheinung gleichsam ein Bild des Bestrebens der Elektricität, sich vom Leiter aus zu zerstreuen, und zwar so, daſs ihre Dichtigkeit hierbei den Quadraten des Abstandes vom Leiter, auf dessen Oberfläche sie aufgehäuft ist, umgekehrt proportional abnimmt. Wäre dieser letztere Satz durch Theorie und Erfahrung hinlänglich begründet, und dürften wir annehmen, daſs die nach Ausgleichung strebende, auf der Oberfläche eines isolirten Leiters ausgebreitete Elektricität gleichfalls an Dichtigkeit und somit auch an Wirksamkeit den Quadraten der Entfernung proportional abnähme, so hätte die Elektrometrie eine feste Basis, worauf sie fuſsen könnte, indem dann die Elektricität nur in einer einzigen Entfernung gemessen werden dürfte, um die Stärke derselben in jedem Abstande von ihrem eigentlichen Sitze zu bestimmen, wobei sich von selbst versteht, daſs auf die durch mannigfaltige Umstände bedingte stete Ausströmung gehörige Rücksicht zu nehmen wäre. Deswegen ist es bisher das hauptsächliche Streben der Elektrometrie gewesen, dieses Gesetz mit genügender Zuverlässigkeit zu begründen.

Pfaff[2] hat gezeigt, daſs der Inbegriff der gesammten elektrischen Erscheinungen nur dann mit innerer Consequenz erklärt werden kann, wenn man die Elektricität für ein gewisses materielles, ätherartiges Wesen hält, dessen einzelne Theile Repulsion gegen einander ausüben. Dieser Ansicht huldigen gegenwärtig alle diejenigen Physiker, welche sich bei der Erforschung der Elektricität nicht mit der Kenntniſs der allgemeinst bekannten Erscheinungen und der hierauf oberflächlich gebaue-

---

1 Hierüber S. *Elektricität; Mittheilung derselben.*

2 S. *Elektricität.*

ten Erklärungen begnügen, sondern die angegebenen gehaltvollen Abhandlungen von COULOMB, POISSON und BIOT gründlich studirt haben. Legen wir aber diesen Satz zum Grunde, und berücksichtigen dann ferner, dafs die Elektricität durch Anziehung auf der Oberfläche festgehalten wird, indem sie sich mit dem entgegengesetzten zu sättigen sucht und zugleich der Repulsion ihrer Theile unterliegt, so folgt hieraus von selbst, dafs die Elektricität den isolirten Leiter nach Art einer Atmosphäre umgiebt, deren Dichtigkeit eben wie bei der Atmosphäre unserer Erde (die Abnahme der Temperatur bei der letzteren nicht berücksichtigt) im quadratischen Verhältnisse der Entfernung abnimmt.

POISSON[1] geht von der von ihm als ausgemacht angenommenen Prämisse aus, dafs die Repulsionskraft der Elektricität im quadratischen Verhältnisse der Entfernungen abnimmt, gründet hierauf die Gesetze der Verbreitung der Elektricität über die Oberflächen der Körper von den verschiedensten Formen, und die Uebereinstimmung der durch seine Analyse erhaltenen Resultate mit denen, welche COULOMB auf dem Wege der Erfahrung fand, läfst nicht wohl einen Zweifel an der Gültigkeit dieses Gesetzes zu. Aufserdem folgert derselbe, und noch bestimmter EGEN[2] aus den allgemeinen Anziehungsgesetzen, angewandt auf das eigenthümliche Verhalten der Elektricität, die Nothwendigkeit dieses Gesetzes. Befindet sich nämlich ein leitender Körper in trockner Luft, und wird ihm Elektricität mitgetheilt, so wird diese vermöge ihrer Repulsionskraft, und indem der leitende Körper ihrer Bewegung kein Hindernifs entgegensetzt, sich über die Oberfläche verbreiten, und daselbst durch die Luft zurückgehalten werden. Es folgt dann sowohl aus theoretischen Gründen, als auch aus COULOMB's directen Erfahrungen[1], dafs unter diesen Bedingungen im Innern der Körper aufser dem natürlichen Stillungszustande keine Elektricität zurückbleibt, dafs vielmehr die freie sich in einer dünnen Schicht über die Oberfläche verbreitet, welche nicht merklich in das Innere eindringt, und deren Dichtigkeit durch die Gestalt des Körpers bedingt wird. Damit aber ein elektrisirter Kör-

---

1 a. a. O. I. p. 1 u. 4.

2 Poggendorf Ann. V. 202.

1 Vergl. *Elektricität* p. 270.

per seinen elektrischen Zustand bleibend und unverändert beibehält (die nothwendige Bedingung der allmäligen Zerstreuung durch die nur unvollkommen isolirende Luft nicht gerechnet), muſs nicht bloſs das Gleichgewicht der die Oberfläche bedekkenden Schichte beständig bleiben, sondern sie darf auch weder Anziehung noch Abstoſsung auf irgend einen willkührlichen Punct im Innern des Körpers ausüben. Wäre dieses nicht der Fall, so würde die auf der Oberfläche befindliche Elektricität einen Theil der im Innern enthaltenen zerlegen, und dadurch ihren vorigen Zustand verändern. Die Resultirende der Wirkungen aller Theile der Elektricität also, welche die äuſsere Lage bilden, gegen irgend einen willkührlichen Punct im Innern des Körpers ist daher $= 0$, und dieses erstreckt sich nicht bloſs auf den Mittelpunct der Körper, sondern auf seinen ganzen Inhalt bis an die Grenze seiner äuſsern Oberfläche, wo sich die Lage der freien Elektricität befindet.

Denkt man sich gröſserer Einfachheit wegen eine Kugel[1], Fig. deren Mittelpunct D seyn möge, und auf deren Oberfläche die 146. freie Elektricität vermöge der Gestalt dieses Körpers überall gleichmäſsig vertheilt ist, an irgend einem Puncte C im Innern derselben aber zwei zur Neutralität verbundene Theilchen der Elektricität, so werden die auf der Oberfläche verbreiteten Theilchen anziehend auf das ungleichnamige und zurückstoſsend auf das gleichnamige Theilchen in C wirken. Es wird also bei C nur in dem Falle keine Vertheilung, und somit auch keine Veränderung des elektrischen Zustandes im Innern des Körpers, und auf seiner Oberfläche nur unter der oben angegebenen Bedingung statt finden, nämlich wenn die Resultirende aller Anziehungen und Abstoſsungen $= 0$ ist; d. h. wenn die Linien Ab und aB unendlich nahe zusammenliegend durch den Punct C gezogen werden, so muſs die Anziehung oder Abstoſsung des Linienelementes Aa gleich derjenigen von Bb seyn, oder aber die Anziehungs- und Abstoſsungskräfte müssen in beliebigen Entfernungen so wirken, daſs sie sich von der Oberfläche einer

1 Egen a. a. O. bezieht sich auf Newton Princ. I. p. 357. ed. nov. Glasquae 1822. (oder Lib. I. Sect. XII. prop. LXX. th. XXX. T. I. p. 267. ed. Tessanek) und Poisson Traité de Méc. II. 20. wo ein ähnlicher Beweis über die anziehenden Kräfte vorkommt. Vergl. G. G. Schmidt Handb. d. Naturl. Gieſs. 1813. I. p. 423.

Kugel aus bei Puncten innerhalb derselben wechselseitig aufheben. Diese Bedingung findet aber nach den hierüber durch Newton, Poisson u. a. geführten Beweisen nur dann statt, wenn die Anziehungs- und Abstoſsungskräfte dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional wirken, man mag in specieller Beziehung auf die Elektricität die Lage derselben auf der Oberfläche der Kugel als verschwindend dünn oder von meſsbarer Dicke annehmen. Ist der Exponent jenes Verhältnisses kleiner als 2, so übt das entferntere Element Bb eine gröſsere Kraft auf C aus, als das nähere Aa; ist er dagegen gröſser als 2, so wirkt Aa stärker auf C als Bb, und in beiden Fällen wird die Elektricität in jenem Puncte zerlegt, und das vorher bestandene Gleichgewicht aufgehoben. Daſs übrigens dasjenige, was hier für den Punct C bestimmt ist, für alle um den Mittelpunct D liegende Puncte statt finde, versteht sich von selbst, und bedarf kaum einer Erwähnung.

Man darf somit den Satz, daſs die freien, auf der Oberfläche leitender Körper angehäuften, Elektricitäten Abstoſsung und Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse des Abstandes ausüben, als theoretisch begründet ansehen. Die Physiker konnten sich indeſs hiermit nicht begnügen, sondern muſsten dieses Gesetz auch durch Versuche prüfen, und dieses ist wirklich von vielen auf verschiedene Weise geschehen, wozu im Allgemeinen die im vorigen Artikel beschriebenen Elektrometer dienten. Dabei wurde im Allgemeinen vorausgesetzt, daſs die Abstoſsungen und Anziehungen einander gleich sind, welches auch durch Versuche bestätigt wurde. In gröſserer Vollständigkeit ist indeſs das Gesetz nur vermittelst der Abstoſsungen geprüft, weil bei den Anziehungen die angezogenen Körperchen leicht etwas Elektricität im Wirkungskreise der genäherten elektrisirten Körper annehmen, und dadurch unrichtige Resultate veranlassen können.

1. Messungen vermittelst der Drehwaage.

Die durch Coulomb erfundene und viel gebrauchte Drehwaage ist oben[1] beschrieben. Die Anwendung derselben zu elektrometrischen Versuchen ist mit sehr groſsen Schwierigkeiten verbunden, weil sie ein auſserordentlich feines Werkzeug

1 S. Th. II. p. 591. Vergl. Gren N. J. III, 50.

ist, und die Anziehungen der Glaswand, welche leicht etwas Elektricität erhält, auf den beweglichen Arm eine grofse Störung herbeiführt. Es ist daher vorzüglich nur Coulomb gelungen, richtige Resultate damit zu erhalten, weil er sie als seine Erfindung sehr hoch schätzte, und sie mit grofser Sorgfalt und ausnehmender Geschicklichkeit zu behandeln wufste. Soll sie zu elektrischen Versuchen gebraucht werden[1], so besteht der Waagebalken aus einer feinen Stange Gummilack b b', dessen horizontale Richtung durch eine in der Mitte eingesteckte, mit dem Knopfe herabwärtshängende, Stecknadel erreicht wird. Fig. 147. Am einen Ende befindet sich die Kugel b' von Hollundermark oder dem Marke der Sonnenblume, welche auch vergoldet seyn kann, und welche man vermittelst des beweglichen Knopfes s auf o der Theilung auf dem unteren papiernen Kreise stellt. Eine andere gleiche Kugel a' wird an dem Stäbchen von Gummilack a a' durch die gläserne Deckplatte des unteren gröfseren Cylinders herabgelassen, und ist gleichfalls auf das o der Theilung gerichtet, so dafs also die erstere Kugel b' um die Summe der Halbmesser beider Kugeln davon weggerückt wird. Die feinen Stangen von Gummilack erhält man leicht, wenn man diese Substanz an der Flamme einer Kerze erweicht, und nach Art des Glases in Fäden von der erforderlichen Länge und Dicke auszieht. An ein solches Stängelchen wird dann ferner ein kleines metallenes Knöpfchen, etwa das einer Stecknadel befestigt, diesem Elektricität durch Berührung einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange, oder eines elektrisirten Conductors mitgetheilt, und dem Kügelchen a' zugeführt, indem man jenes mit diesem durch eine seitwärts befindliche geeignete Oeffnung in Berührung bringt und sogleich zurückzieht.

Bei Coulomb's Versuchen hing der feine Waagebalken an einem sehr dünnen Silberfaden von 28 Z. Länge, und so zart, dafs 1 Fufs davon nicht mehr als $\frac{1}{16}$ Gran wog. Der Radius des durch den Hebelarm beschriebenen Kreises betrug 4 Z., wonach also[2] eine auf das Ende des Waagebalkens perpendiculär wirkende Kraft von $\frac{1}{340}$stel Gran erfordert wurde, um denselben durch einen ganzen Kreis herumzudrehen. Weil aber die Elasticität eines Drahtes bei einer Windung um seine Län-

1 Biot Traité. II. 224 ff.

2 Vergl. *Drehwaage* Th. II. 596. ff. u. *Elasticität* p. 194. ff.

genaxe dem Drehungswinkel proportional ist, so erforderte die Drehung von *einem* Grade nur ein Gewicht von $\frac{1}{122400}$ Gran. Indeſs zerriſs dieser Draht durch die geringste Erschütterung, und Coulomb bediente sich daher mehr eines Drahtes von doppelt so starkem Durchmesser, dessen Elasticität also 16 mal gröſser war. Es ist ferner räthlich, den Draht einige Tage vor dem Versuche durch ein Gewicht gespannt zu halten, welches der Hälfte seiner absoluten Tragkraft gleich ist, auch die Umdrehung nicht über 300 Grade zu treiben, damit er sich nicht windet, und losgelassen auf seinen vorigen Stand zurückkommt.

Coulomb verfeinerte dieses Werkzeug noch mehr, um ein bloſses Elektroskop für die geringsten Spuren von Elektricität zu erhalten. Zu diesem Zwecke nahm er statt des Metalldrahtes einen Coconfaden, 4 Z. lang, mit einem zarten Waagebalken von 1 Z. Länge, an dessen Ende ein kleines Scheibchen Rauschgold befestigt war, so daſs das Gewicht des Ganzen nicht mehr als 0,25 Gran ausmachte. Die Drehung durch einen ganzen Kreis betrug hierbei nur den 60,000sten Theil eines Granes. Durch die äuſsere Wand des gläsernen Gehäuses wird ein von Gummilack umgebener Kupferdraht gesteckt, welcher an einem Ende ein vergoldetes Kügelchen von Hollundermark trägt, am andern ein metallenes Knöpfchen. Die Axe des Drahtes befindet sich in 0° der Theilung des Kreises, der Coconfaden aber wird vermittelst seiner oberen Befestigung leise gedrehet, bis das Scheibchen Rauschgold das vergoldete Kügelchen gerade berührt, und es wird zurückgestoſsen, wenn man dem metallenen Knöpfchen am Kupferdrahte von Auſsen einen auch noch so wenig elektrisirten Körper nähert. Das Werkzeug gehört also ganz eigentlich unter die *Mikroelektrometer*.

Um zu zeigen, auf welche Weise Coulomb das seitdem auf seine Autorität angenommene Gesetz aus seinen Versuchen folgerte, beschreibt Biot einen derselben. Als nämlich der Apparat auf die angegebene Weise vorgerichtet und der Kugel a′ Elektricität mitgetheilt war, wurde die Kugel b′ um einen Winkel von 36° zurückgestoſsen. Coulomb drehete darauf den Draht dieser Abstoſsung entgegen, bis der Winkel nur noch 18° betrug, wobei der Zeiger bei s eine Umdrehung von 126° zeigte. Nach Herstellung des Gleichgewichts fuhr er fort rückwärts zu drehen, bis b′ auf 8°,5 zeigte, wozu eine Umdrehung durch 567° erfordert wurde. Durch vorläufige Versuche hatte

sich COULOMB überzeugt, daſs eine Abstoſsung von 30° an diesem trocknen Tage innerhalb 3 Minuten nur um 1° vermindert wurde, und da der Versuch nur zwei Minuten dauerte, so kann der Verlust als verschwindend betrachtet werden. Ist hiernach abd der durch die Kugel am Ende des Hebelarmes beschriebene Kreis, c der Mittelpunct desselben, und ab der bei der ersten Zurückstoſsung gemessene Bogen von 36°, so bezeichnet dieser die Stärke der Repulsion auf diese Entfernung. Als für die zweite Entfernung der Zeiger um 126° rückwärts gedrehet wurde, die Kugel sich aber in b′, einem Abstande von 18° erhielt, so gehörte die Elasticität des Drahtes einer Abstoſsungskraft von 126° + 18° = 144° bei dieser Entfernung zu. Endlich wurde der Draht um 567° gedrehet, und als die Kugel bei 8°,5 zum Stillstande kam, so gehörte dieser Entfernung eine Elasticität von 567° + 8°,5 = 575°,5 zu. Indem aber nach dem, was oben unter Elasticität[1] gezeigt ist, der Widerstand gedreheter Drähte dem Drehungswinkel proportional ist, so verhalten sich, wenn die letzte Gröſse in 576° verwandelt wird, die Abstandswinkel wie $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ die Drehungswinkel aber wie 1 : 4 : 16 d. h. die letzteren umgekehrt wie die Quadrate der ersteren. Hieraus folgt also das Gesetz, *daſs die elektrischen Repulsionen den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportianal sind.*

Fig. 148.

Hierbei sind indeſs die Bogen statt der Chorden zum Messen der Entfernungen genommen, auch ist vorausgesetzt, daſs die Richtung der abstoſsenden Kraft stets perpendiculär auf die Kugel am Hebelarme gewesen sey, welches nicht in ganzer Strenge richtig ist. BIOT[2] hat daher gezeigt, wie die Versuche mit Rücksicht auf diese Bedingungen genau berechnet werden können. Es ist zuvörderst als erwiesen anzusehen, daſs bei einer massiven oder hohlen Kugel, deren einzelne Theilchen mit einer im quadratischen Verhältnisse des Abstandes abnehmenden Abstoſsungs- oder Anziehungskraft versehen sind, die Gesammtkraft derselben in ihrem Mittelpuncte vereinigt angenommen werden kann[3]. Ist die letztere daher in der Ent-

1 Th. III. 194.
2 a. a. O. p. 229.
3 Vergl. Newton u. Poisson a. d. a. O.

fernung 1 gleich F; so ist sie in der Entfernung $D = \frac{F}{D^2}$, wenn
Fig. 149. bei einer Winkelbewegung der Abstand nach der Chorde ab gemessen wird. Zerlegt man diese in zwei andere, die eine nach der Richtung der Nadel cb, die andere lothrecht auf dieselbe bt, so ist die letztere es allein, welche die Drehung bewirkt. Die abstoſsende Kraft muſs also nach statischen Gesezzen mit dem Cosinus des Winkels abt multiplicirt werden, und da letzterer das Complement von cba, also = 90° — cba ist, so wird für das gleichschenkliche Dreieck acb, wenn man den Winkel bei c durch a bezeichnet, die Abstoſsungskraft $= \frac{F}{D^2}$ Cos. ½a. Es kann indeſs auch die Entfernung D als Function dieses Winkels ausgedrückt werden. Fället man nämlich von c aus das Perpendikel cp, so ist ap = bp = Sin. ½a also für den Radius cb = r ist D = 2r Sin. ½a wonach man für die abstoſsende Kraft den geometrischen Ausdruck

$$\frac{F.\ \text{Cos.}\ \frac{1}{2}a}{4r^2\ \text{Sin.}^2\frac{1}{2}a}$$

erhält. Ist dann A der durch den Zeiger bei s gemessene Drehungsbogen des Drahtes, woran der Waagebalken hängt, und dessen Elasticität mit der Repulsion ins Gleichgewicht kommt, giebt man ferner diesem Bogen für den nämlichen Apparat einen beständigen Coefficienten n, so ist

$$\frac{F.\ \text{Cos.}\ \frac{1}{2}a}{4r^2\ \text{Sin.}^2\frac{1}{2}a} = nA$$

woraus $\frac{F}{4nr^2} = A\ \text{Sin.}\ \frac{1}{2}a\ \text{Tang.}\ \frac{1}{2}a$

wird, und da das erste Glied dieser Gleichung eine für alle Versuche beständige Gröſse ist, so müssen sie unter der Voraussetzung der Richtigkeit des aufgestellten Gesetzes für das letzte eine gleiche Gröſse geben. Man erhält aber aus der Berechnung der Coulomb'schen Versuche nach dieser Formel

Versuche	a	A.	A. Sin. ½a Tang. ½a
1ster Vers.	36°	36°	3,614
2ter Vers.	18	144	3,568
3ter Vers.	8,5	575,5	3,169
angenommen	9	576	3,557

Bloſs bei dem 3ten Versuche zeigt sich eine Abweichung, wel-

che zwar als Beobachtungsfehler gelten könnte, indefs läfst sich auch annehmen, dafs die geringere Gröfse des Abstofsungswinkels aus der Natur der Sache folge. Kommen nämlich zwei Kugeln mit einer sie umgebenden elektrischen Atmosphäre einander sehr nahe, so stofsen sich die letzteren ab, und es liegt das Centrum der abstofsenden Kraft der Kugeln nicht mehr im Mittelpuncte der letzteren, sondern in einer mit ihrer Nähe wachsenden Entfernung von demselben, wodurch also der Abstofsungswinkel vermindert werden mufs. Man sieht zugleich aus dieser Berechnung, dafs in denjenigen Fällen, worin der Abstofsungswinkel nicht über 36° beträgt, man sehr gut die Bogen statt ihrer Chorden nehmen kann, um durch eine leichtere Berechnung solche Werthe zu erhalten, welche sich nur unmerklich von der Wahrheit entfernen.

Coulomb hat auch Versuche angestellt, um das Gesetz der Anziehung ungleichartig elektrisirter Körper zu finden[1]. Sie sind aber ungleich schwieriger und unsicherer als die eben beschriebenen, und es genügt daher nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs sich auch durch diese das aufgestellte Gesetz der Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung bestätigt zeigte. Wird nämlich die am Hebelarme der Drehwaage befestigte Kugel b, wenn sie entweder im neutralen Zustande oder mit entgegengesetzter Elektricität gesättigt ist, durch die feste Kugel a angezogen, so müssen nach entstandener Bewegung beide zur Berührung kommen, wenn die Anziehung dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional ist, und hierdurch wird der elektrische Zustand beider verändert. Um dieses zu hindern, mufs ein seidener Faden lothrecht im Gehäuse der Drehwaage so herabgeführt werden, dafs der eine Arm des Waagebalkens in seiner Bewegung dadurch aufgehalten wird, so dafs die Kugel nur etwa bis nach b′ gelangen kann, und dann mufs man den Draht so stark rückwärts drehen, bis seine Elasticität mit der Anziehung der Kugeln ins Gleichgewicht kommt. Weil aber hiernach beiden Kugeln Elektricität mitgetheilt werden mufs, deren Stärke nicht so genau bestimmbar ist, oder die neutrale Kugel im Wirkungskreise leicht etwas Elektricität annimmt, überhaupt die Anstellung des Versuches leicht etwas mehr Zeit erfordert, so ist auf diesem Wege nicht leicht völlige

Fig. 150.

1 Biot Traité II. 233.

Genauigkeit zu erhalten, und sind solche daher nicht ohne die gröſste Vorsicht anzustellen.

Endlich bestätigte Coulomb das aufgefundene Gesetz noch durch eine Reihe von Versuchen, welche nicht eben schwer anzustellen und in mancher Hinsicht sehr interessant sind, eben daher also eine Erwähnung verdienen[1]. Er bediente sich hierzu einer Drehwaage, deren Hebelarm aus Gummilack 15 bis 16 Lin. lang bestand. An dem einen Ende war ein kleines Scheibchen Goldpapier befestigt, er selbst aber an einem Coconfaden von 7 bis 8 Z. Länge aufgehangen, dessen anderes Ende zu vollständigerer Isolirung an einem Stäbchen Gummilack befestigt war. Die Beweglichkeit eines solchen Apparates ist so leicht, daſs ein Hundertzwanzig Tausendstel eines Grans den Waagebalken durch einen ganzen Kreis umzudrehen vermag. Es muſs indeſs der Waagebalken einige Tage an dem Faden ruhig hängen, damit letzterer sich vollkommen aufdrehet, und die Schwingungen nachher bloſs durch die Anziehung einer vor demselben befindlichen Kugel bedingt werden. Vor dem Scheibchen Goldpapier stellte Coulomb nämlich eine groſse hölzerne, mit Zinnfolie überzogene Kugel von einem Fuſs im Durchmesser, welche von drei dünnen Säulen Gummilack isolirt getragen wurde, und vermittelst eines Schiebers in einer Nute auf abgemessene Entfernungen dem Scheibchen genähert oder weiter davon entfernt werden konnte. Nachdem der Apparat auf diese Weise vorgerichtet war, wurden dem Scheibchen und der Kugel entgegengesetzte Elektricitäten mitgetheilt, der Abstand ihrer Mittelpuncte genau gemessen, und der Waagebalken in verschiedenen Entfernungen dieser Mittelpuncte in Schwingungen durch kleine Bogen versetzt, die Zeitdauer einer bestimmten Menge derselben nach einer genauen Secundenuhr bestimmt, und hieraus die Stärke der Anziehung berechnet. Es gehörten hiernach folgende Gröſsen zu einander:

Abstand der Centra:	Zeitdauer von 15 Schwingungen.
9 Zolle	20 Secunden.
18 —	41 — —
24 —	60 — —

Zur Berechnung dieser Resultate darf man eben so wie oben die

1 Biot Traité II. 236. ff.

anziehende Kraft zwischen dem Scheibchen Goldpapier und der Kugel für die verschiedenen Entfernungen ihrer Mittelpuncte durch $\frac{F}{D^2}$ ausdrücken, insofern sich annehmen läſst, daſs die Gesammtkraft der elektrischen Wirkung beider in ihrem Centro vereinigt gedacht werden kann, und das Scheibchen wegen der Gröſse der Kugel und der Kleinheit der Schwingungsbogen während der Dauer einer einzelnen Schwingung seine Entfernung von derselben nicht merklich änderte. Werden dann die Schwingungen mit denen eines durch die Anziehung der Erde schwingenden Pendels verglichen, für welches bei einer Länge $= L$, und die Schwere $= g$ die Schwingungszeit

$$T = \pi . \left(\frac{L}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ist, so wird durch Substitution von $\frac{F}{D^2}$ statt g

$$T = D . \pi . \left(\frac{L}{F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

wonach also die Schwingungszeiten den Abständen proportional seyn müssen, wenn die Länge des Hebelarmes und die Stärke der Elektricität unverändert bleiben. Bei dem erwähnten Versuche verhielten sich die Entfernungen wie 3 : 6 : 8, die Zeiten aber wie 20 : 41 : 60. Die letzteren sollten seyn 20 : 40 : 54, wovon hauptsächlich nur die letztere Gröſse bedeutend abweicht. Allein die Beobachtung wurde 4 Minuten nach der ersten gemacht, und da nach Coulomb's Bestimmung die elektrische Spannung um $\frac{1}{40}$ in jeder Minute abnahm, so muſste mit Rücksicht auf diesen Verlust die letzte Schwingungszeit von 15 Oscillationen 57 Secunden betragen, welches von der Beobachtung nicht merklich abweicht.

Versuche mit der Drehwaage sind seit Coulomb nur sehr wenige angestellt, oder die Physiker haben sie nicht bekannt gemacht, entweder weil sie gleiche Resultate erhielten, als jener, oder bei der Schwierigkeit der Handhabung dieses Apparates den Erfinder desselben an Genauigkeit nicht zu übertreffen hofften. Parrot[1] unter andern versichert das angegebene Gesetz bei Versuchen mit der Drehwaage bestätigt gefunden zu haben, zugleich aber konnte er nie die durch Coulomb erhaltene

1 G. LX. 22.

genaue Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen mit demselben erreichen, sondern die Fehler stiegen zuweilen bis auf ⅛ des Ganzen. J. T. Mayer[1] wirft dem Apparate überhaupt Ungenauigkeit wegen der Zerstreuung der Elektricität während der Versuche vor, welche indeſs bei demselben wegen der umgebenden Glaswände und des Gebundenseyns der Elektricität an Kugeln auf alle Fälle geringer seyn muſs, als bei den meisten, wo nicht allen andern Elektrometern. Unverkennbare Schwierigkeiten liegen offenbar in der Schnelligkeit, womit diese Versuche, wie alle elektrometrischen, angestellt werden müssen, und in der Anziehung, welche die Wände des Gehäuses gegen die Kugel des Waagebalkens ausüben, und deren Einfluſs nicht füglich anders als durch eine Erweiterung dieses Gehäuses wo nicht aufgehoben doch bedeutend vermindert werden kann.

Insbesondere sind die Coulombschen Versuche zur Prüfung des durch dieselben aufgefundenen Gesetzes wiederholt durch L. F. Kämtz[2]. Die von ihm gebrauchte Waage bestand aus einem mit Gummi-Lack überzogenen Glasstabe an einem nürnberger Goldhaardrahte aufgehangen, an dessen Enden kleine Kugeln von Messing oder kleine Scheiben von Blattzinn befestigt waren. Aus einer sehr groſsen Reihe von Versuchen ergab sich als mittlerer Exponent des verkehrten Verhältnisses der Abstoſsungen zu den Entfernungen = 1,237. Daſs dieses Gesetz aus den Versuchen eines genau experimentirenden, und die erhaltenen Gröſsen richtig berechnenden, Physikers wirklich gefunden sey, leidet wohl keinen Zweifel, allein zugleich wäre auch auf keine Weise begreiflich, mit welcher Theorie der Verbreitung der elektrischen Materie über die leitenden Körper dasselbe verträglich seyn sollte. Inzwischen weiſs ich aus Privatmittheilungen, daſs die gebrauchte Drehwaage, deren Dimensionen nicht näher angegeben sind, nur klein war. So wie aber dieses Instrument überhaupt bloſs dann zuverlässige Resultate gewährt, wenn der Waagebalken und der tragende Draht hinlänglich lang sind, so ist auch insbesondere in dem Falle, wenn dieses nicht statt findet, der Einfluſs der Wände so bedeutend, daſs Beobachtungsfehler auch bei der gröſsten Vorsicht unver-

1 Comment. Soc. Reg. Gott. Rec. T. V. Gott. 1823. p. 95.

2 Diss. de legg. Repuls. el. math. p. 5 ff.

meidlich sind. Man darf daher wohl mit Recht diese Versuche den Coulombschen um so mehr nachsetzen, als das aus den letzteren erhaltene Gesetz mit der Theorie vollkommen übereinstimmt.

2. Messung vermittelst horizontaler Pendel.

Den Versuchen mit der Drehwaage am nächsten kommen die mit Pendeln, welche auf einem feinen Stifte balancirt sind, und an deren Enden sich Kugeln befinden, welche von andern elektrisirten Kugeln angezogen und abgestoſsen werden. So viel ich weiſs haben nur zwei Physiker auf diese Weise das Gesetz der elektrischen Abstoſsung zu erforschen gesucht, und beide haben die erhaltenen Resultate auf eine verschiedene Weise berechnet, wie einzeln angegeben werden soll. Beide bedienten sich dabei zweier Zambonischer Säulen, deren Pole das horizontale Pendel abwechselnd anzogen und abstieſsen. Es lassen sich aber gegen diese Beobachtungsart im Allgemeinen mehrere gegründete Einwendungen aufstellen, welche evident beweisen, daſs auf diesem Wege das gesuchte Gesetz keineswegs mit genügender Schärfe erhalten werden kann[1]. Zuvörderst haben schon die Versuche mit magnetischen Declinationsnadeln gezeigt, daſs die auf einer noch so feinen Spitze balancirten Hebel eine zu groſse Reibung erleiden, als daſs man diese gehörig in Rechnung bringen könnte. Zweitens wird vorausgesetzt, daſs die Knöpfchen im Augenblicke der Berührung wieder abgestoſsen werden, allein dieses geschieht erst, nachdem sie alle ± Elektricität abgegeben, und dagegen ∓ E. angenommen haben. Drittens wird die elektrische Kraft in beiden Säulen gleich stark angenommen, und muſs dieses seyn, wenn regelmäſsige vollständige Neutralisirung und Ladung statt finden soll; allein die hierbei vorausgesetzte Bedingung findet selten oder nie vollständig statt. Viertens nimmt man an, daſs der Knopf jeder Säule bei der Berührung vollständig und mit dem andern gleich stark geladen sey; allein die Herstellung der elektrischen Ladung bei diesen Säulen hängt bekanntlich von verschiedenen Bedingungen ab, weswegen auch unveränderliche Pendel in ungleichen Zeiten zwischen ihnen schwingen. Fünftens liegt der Punct, von welchem die anziehenden und ab-

1 Vergl. Egen a. a. O. p. 217.

stoſsenden Kräfte ausgehen, nach dem, was oben hierüber beigebracht ist, nicht im Mittelpuncte der Kugeln, wie bei der Berechnung angenommen wird, wenn sie nicht allzu verwickelt werden sollen. Sind nämlich Kugeln von gleichnamiger Elektricität mit einander in unmittelbarer Berührung, so ist wegen der gegenseitigen Repulsion beider Elektricitäten im Puncte ihrer gemeinschaftlichen Berührung nach Coulomb's und Mahon's[1] Versuchen und Poisson's Demonstrationen die Elektricität $= 0$, der Mittelpunct ihrer beiderseitigen Spannungen rückt dem Centro jeder Kugel näher, so wie sie sich von einander entfernen, und fällt bei gehöriger Entfernung in das Centrum derselben, ist also beweglich, worüber unmöglich Rechnung gehalten werden kann. Sechstens gerathen solche Pendel durch das Anstoſsen an die Kugel in gewisse Schwingungen einer durch ihren Schwerpunct gezogenen horizontalen Linie um den Unterstützungspunct nach Art des Zitterns der auf gleiche Weise balancirten Magnetnadeln, welche die eigentlichen Oscillationen ausnehmend stören. Parrot's Apparat habe ich zwar weder versucht, noch auch überhaupt gesehen, die durch v. Yelin construirte Libelle aber ist ein solches beberiges Ding, daſs es den Physiker mit Grauen erfüllen muſs, wenn er unbefangen an das Unternehmen geht, mit demselben ein physicalisches Gesetz zu begründen, und Boeckmann äuſserte daher mündlich gegen mich, es sey unmöglich, damit nur genäherte Resultate zu erhalten. Egen nennt es daher mit Recht ein verkehrtes Bemühen, aus so complicirten Erscheinungen ein einfaches Naturgesetz auffinden zu wollen.

Fig. 151. Parrot's Apparat[2] bestand aus einem messingenen Balancier AB mit messingnen Knöpfchen von 3 Par. Lin. Durchmesser an den Enden[3]. D und F sind die Kugeln von zwei gleichen Zambonischen Säulen, welche gleich stark angenommen werden, so daſs also die eine fortdauernd mit positiver, die andere mit negativer Elektricität von unveränderter Spannung geladen ist. Die Spitze, worauf der Balancier bei C ruhete, war vollkommen isolirt, so daſs also das nach der Berührung der Ku-

1 S. unten.

2 G. LX. 26. Entretiens sur la Physique. Dorpat 1822. 8. V. 79.

3 Die Versuche, wobei diese Knöpfchen fehlten, und die Spitzen angezogen wurden, übergehe ich.

gel D mit gleichartiger Elektricität geladene Knöpfchen A diese auch an B mittheilte, und dieses also von F angezogen wurde, während es selbst Zurückstofsung durch D erlitt. Bei zunehmender Entfernung wurden die hierdurch erzeugten Schwingungen langsamer, und aus den hiernach gemessenen Zeiten folgert Parrot, dafs das Gesetz einer im einfachen Verhältnifs der Abstände abnehmenden Anziehung mit den Resultaten dieser Versuche besser übereinkomme, als das Coulombsche. Die Gründe seiner Berechnungen will ich keiner näheren Beurtheilung unterwerfen. Wenn man indefs davon abstrahirt, dafs der Abstand eigentlich vom Mittelpuncte beider sich berührender Kugeln anzunehmen wäre, welches aber bei der geringen Entfernung aus den oben angegebenen Gründen, die Vertheilung der Elektricität über die Kugeloberflächen betreffend, nicht füglich angeht, dann aus den für gleiche Zeiten angegebenen Schwingungen die Zeitdauer einer jederzeit gleichen Anzahl von Schwingungen sucht, und die auf solche Weise erhaltenen Werthe nach der oben angegebenen Formel für die durch Coulomb angestellten Versuche berechnet, wonach für das umgekehrte quadratische Verhältnifs der Abstofsung die Schwingungszeiten den Abständen proportional seyn müssen, so erhält man folgende einander zugehörige Werthe:

Abstand der Kugeln	Zeitdauer von 18 Schwingungen beobachtet	berechnet A	B
2 par. Lin.	12,7 Sec.	12,7 Sec.	12,7
4 — —	24,5 —	25,4 —	25,4
6 — —	34,8 —	38,1 —	36,0
8 — —	46,9 —	50,8 —	46,6
10 — —	60,0 —	63,5 —	58,8

Bei der Berechnung unter A ist das einmal erhaltene Verhältnifs stets beibehalten, also 2: 4: 6... = 12,7: 24,4: 38,1...., bei der unter B sind allezeit die durch die Versuche erhaltenen Werthe genommen, also z. B. 6: 8 = 34,8: x. Die Differenzen der Rechnung und Beobachtung sind so grofs nicht, um mit dem Gesetze des quadratischen Verhältnisses der Abstofsung unvereinbar zu seyn, allein die Versuche bleiben immer zu mangelhaft, als dafs sie zum Beweise desselben dienen könnten.

Von Yelin[1] fand bei seinen Versuchen weder das Gesetz der im einfachen noch im quadratischen Verhältnisse abnehmenden Kraft der Abstofsung, sondern erhielt für dasselbe eine Curve von der 5ten Ordnung. Seine Berechnung ist sehr weitläufig, allein Brandes[2] hat nachher gezeigt, dafs dieselbe unzulässig sey, und nach einer anderen, welche letzterer selbst mittheilt, sind die Resultate unter sich selbst so unvereinbar, dafs man nicht hoffen darf, durch sie der gesuchten Wahrheit näher zu kommen, weswegen mir eine weitere Betrachtung derselben überflüssig scheint.

3. Elektrometrie durch unmittelbare Wägung.

Unter die am meisten geachteten und mit Recht zu schäzzenden Versuche zur Bestimmung des Verhältnisses der Entfernung und der Stärke der elektrischen Abstofsung gehören diejenigen, worin die letztere unmittelbar durch zugelegte Gewichtstücke gemessen wird. Solche sind die unlängst bekannten von Simon, und die neuerdings zur Prüfung derselben von Egen angestellten. Beide bedienten sich dazu einer sehr feinen Waage von möglichst isolirenden Substanzen, und eigends für diese verfertigter Gewichtstheilchen. Simon[3] verfertigte aus den feinsten Glasstäbchen, die er an einer Lampe so gerade wie möglich auszog, und ausgesuchte gleiche Stückchen an einander schmolz, einen zarten Waagebalken g b, über welchem er in der Mitte eine höchst feine Axe bei a anklebte, und unterhalb einen Zeiger a h anschmelzte. Die genaue rechtwinkliche Richtung der Zunge und des Waagebalkens gegen einander wurde vermittelst eines Bretes, auf welchem zwei Linien rechtwinklich auf einander gezogen waren, erhalten. Um das Gewicht der Zunge zu compensiren, wurde oberhalb derselben ein Stängelchen von Glas mit dem Metallknopfe p befestigt[4]. Der

Fig. 152.

1 Versuche und Beobachtungen zur näheren Kenntnifs der Zambonischen trockenen Säule u. s. w. München 1820. 4.

2 Schweigg. J. N. R. V. 45.

3 G. XXVIII. 277. Ein Mangel des Simon'schen Apparates liegt wohl darin, dafs er blofs auf vollständige Isolirung bedacht war. Egen's Apparat ist daher ungleich besser.

4 In der Figur ist der vordere Theil der gekrümmten Glasröhre,

Träger des Waagebalkens bestand aus einem gekrümmten Glasstabe CD, welcher unterhalb in einen hölzernen Fuſs gekittet wurde, oberhalb aber die Pfannen für die Zapfen des Waagebalkens und in der Mitte den Gradbogen EF trug. Damit der Waagebalken einen hohen Grad der Beweglichkeit erhielte, lieſs Fig. 153. Simon die Axe desselben auf den beiden, an dem gekrümmten Glasstabe festgeklebten, und oben mit scharfen Schneiden zugeschärften, Stücken Gummilack b, c ruhen, und an dem Ende Fig. 154. g desselben befand sich das horizontale Querstäbchen ed, um die nachher zu erwähnenden, aus feinen gebogenen Drahtenden bestehenden, Gewichttheilchen daran zu hängen. Als Gegengewicht diente diesem die Kugel von Hollundermark b, welche 0,4 Z. im Durchmesser haltend am andern Ende so aufgesteckt wurde, daſs ihr Centrum von der Mitte des Wagebalkens gleichweit abstand, als das Stängelchen ed am andern Ende, wonach also der vorher schon balancirte Waagebalken auf die Schneiden von Gummilack gelegt mit seiner Zunge genau auf 0° der Theilung einspielte. Es waren übrigens die Dimensionen dieses Apparates in rheinländischen Zollen: die Länge des Waagebalkens 8 Z.; die Stärke desselben an den Enden 0,02 Z., in der Mitte 0,04 Z.; die Stärke der Axen 0,005 Z.; die Länge der Zunge 4 Z.; die Stärke derselben oberhalb 0,02, unten 0,01 Z.; die ganze Länge der Tragstange 12 Z. Die Gewichte bestanden aus kleinen Ringen von feinem Drahte. Indem aber 0,1 Gran einen Ausschlag von 25 Graden der Theilung gab, also 0,01 Gran 2,5 Grade, von denen jeder $\frac{4}{5}$ Lin. groſs war, und wovon 0,25 noch genau genug geschätzt werden konnten, so betrug die Empfindlichkeit der Waage 0,001 Gran. Endlich gehörte zu diesem Apparate noch der Stab AB mit dem Schieber cd, an welchem Fig. 152. eine Kugel e von gleicher Gröſse und Beschaffenheit als die beschriebene b an dem Glasstäbchen f befestigt war. Der Träger AB selbst war ein calibrirter Glasstab, 0,3 Z. stark, der Schieber cd eine mit Sammet gefütterte Glasröhre, welche beim Verschieben durch ihre Reibung an jeder Stelle festblieb, und das 3 Zoll lange Glasstäbchen f war mit Gummilack, eben wie der Waagebalken, zu besserer Isolirung überzogen.

Simon stellte seine Versuche auf die Weise an, daſs er

---

sammt der Unterlage des Zapfens weggeschnitten, damit man auch hier dieses Knöpfchen sieht.

den beiden Kugeln, wenn sie sich (scheinbar) völlig berührten, und die Zunge des Waagebalkens auf 0° stand, Elektricität mittheilte, worauf sie sich von einander entfernten. Vorläufige Versuche ergaben dann, daſs die Grade, welche die Zunge zeigte, also auch der Abstand der Kugeln sich während 7 Minuten nicht merklich änderte, so daſs also füglich jeder Versuch ohne eine meſsbare Zerstreuung der Elektricität beendigt werden konnte. War dann der Ausschlag der Zunge gemessen, so wurden am andern Ende des Waagebalkens Gewichttheilchen angehängt, wodurch die Kugeln einander näher kamen, und ihre vergröſserte Repulsion muſste also nicht bloſs den Ausschlag des Waagebalkens, sondern auch das vermehrte Gewicht desselben überwinden, so daſs sich hieraus die Vermehrung der Repulsion finden lieſs. Hierbei müſsten eigentlich die Entfernungen der beiden Kugeln, oder welches einerlei ist, die Grade, welche die Spitze der Zunge des Waagebalkens durchlief, nach dem Sinus des Winkels gemessen werden; allein es ist oben unter 1, bei der Berechnung der Coulombschen Versuche gezeigt, daſs man bis 36° die Bogen dreist statt der Sehnen, also für 15° die Bogen statt der Sinus nehmen kann. Beträgt dann der Abstoſsungswinkel anfangs a Grade, nach dem Aufhängen von c Gewichttheilchen (deren jedes $\frac{1}{750}$ Gran betragen muſs, weil einem solchen Gewichte nach der oben angegebenen Untersuchung 1 Grad des Index zugehörte) aber b, so ist nach dem Coulombschen Gesetze des umgekehrten quadratischen Verhältnisses der Abstände, insofern die Entfernungen der Kugeln gleichfalls durch die Grade des Index gemessen werden,

$$a : b + c = b^2 : a^2.$$

Die Zunge des Waagebalkens zeigte nach Mittheilung der Elektricität auf 10 Grade. Simon hing, um sie auf 5° zurückzubringen, 35 Gewichttheilchen an, weil $10 : 5 + 35 = 5^2 : 10^2$ fand aber daſs hierdurch die Kugeln wieder zur Berührung gebracht wurden. Diese Erscheinung, welche nach mehrmaliger Wiederholung Simon bewog, das Coulombsche Gesetz für unrichtig zu halten, und zu dem des umgekehrten einfachen Verhältnisses der Entfernungen überzugehen, erklärt sich sehr einfach aus der Vertheilung der Elektricität über die Kugeln. Indem nämlich der Hebelarm des Waagebalkens eine gleiche Länge hatte, als die Zunge desselben, so gaben die Grade, deren jeder $\frac{1}{6}$ Lin. betrug, zugleich den absoluten Abstand beider Ku-

geln = 4⅙ Linien. Die Summe ihrer gemeinschaftlichen Halbmesser betrug aber 4,8 Linien, und war also gröfser, als ihr Abstand, die Mittelpuncte ihrer elektrischen Wirkungssphären mufsten also über ihre geometrischen Mittelpuncte hinausgerückt werden, und indem dieses bei zunehmender Annäherung stets mehr geschah, so mufsten sie endlich zur Berührung kommen. SIMON fand nachher durch mühsame Versuche, dafs für c = 15 die Entfernung auf die Hälfte herabkam, welches dann nach der Formel

$$10 : 5 + 15 = b^x : a^x$$

den Exponenten x = 1 giebt, also den Beweis enthält, dafs die elektrischen Repulsionen im einfachen Verhältnisse der Entfernungen abnehmen. Weil es aber zu viele Zeit raubte, die Entfernungen jedesmal auf die Hälfte herabzubringen, so elektrisirte SIMON die Kugeln mit verschiedener Intensität, bemerkte die Abstofsung, hing willkürliche Gewichte an das andere Ende des Waagebalkens, bemerkte die Grade der Abstofsung, welche die Spitze der Zunge dann zeigte, und berechnete hiernach das fragliche Gesetz. Unter 20 Versuchen jedoch, welche nach der Hypothese des einfachen Verhältnisses der Abstofsung berechnet sind, giebt nur einer gar keine Differenz zwischen der Beobachtung und Rechnung, zwei geben positive, 17 dagegen negative Differenzen, unter denen einige sehr bedeutend sind, so dafs also auch nach diesen Versuchen, wenn sie auf die angegebene fehlerhafte Weise berechnet werden, das aufgestellte Gesetz als nicht genau richtig erscheinen mufs.

SIMON bemerkte schon bei der Anstellung seiner Versuche, dafs die wirklichen Entfernungen der Kugeln von einander geringer wurden als die berechneten, wenn dieselben durch aufgelegte Gewichte in gröfsere Nähe kamen. So hätten sie durch 21 Gewichttheilchen auf einen Abstand von 4 Graden kommen müssen, gingen aber 3,5 Grade herab, welches also einen Unterschied von 0°,5 oder fast eine halbe Linie gab. Er selbst leitete dieses von einem Zurückdrängen der Elektricität über die Nichtleiter ab, GILBERT aber richtiger von einer Entfernung der Mittelpuncte ihrer Wirkungssphären. Als letzterer dieses dem ersteren angegeben hatte, gestand auch dieser die Richtigkeit dieser Ansicht zu, versicherte aber, dafs aus diesem Grunde kleinere Kugeln und noch mehr blofse Scheiben genauere Resultate gäben, beide von ihm zu Versuchen benutzt wären, und

dann um so bestimmter das von ihm aufgefundene Gesetz bestätigt hätten. Hiernach urtheilte also Gilbert, und so mufsten auch die übrigen Physiker annehmen, dafs ein auf so einfachem Wege durch unzweideutige Versuche gefundenes Gesetz das richtige sey. Merkwürdig ist es dabei, dafs Gilbert durch die angegebenen Betrachtungen nicht auf den Gedanken kam, es müsse die Entfernung überhaupt nicht nach dem Abstande der Oberflächen der Kugeln, sondern ihrer Mittelpuncte berechnet werden, welche zugleich die Centra ihrer elektrischen Wirkungssphären seyen, um so mehr, als Coulomb schon auf diese Weise seine Messungen angestellt hatte. Ich gestehe gern, dafs mir früher dieser Einwurf nicht in den Sinn gekommen ist, weil ich Versuche nicht nochmals prüfen zu müssen glaubte, welche durch so gewiegte Physiker bewährt gefunden waren, und so mag es vielen andern gleichfalls ergangen seyn.

Um so verdienstlicher ist es, dafs Egen[1] nicht blofs diesen Fehler aufgedeckt, sondern auch mit Rücksicht auf denselben die sämmtlichen Beobachtungen von Neuem berechnet hat. Die Summe der Halbmesser beider Kugeln betrug 0,4 Z., also $4{,}8 \times \frac{6}{5} = 5{,}76$ oder in runder Zahl 5,8 Grade, und diesemnach die Abstände a + 5,8 und b + 5,8 Grade. Bleibt aber der Exponent des umgekehrten Verhältnisses der Abstände vorläufig unbestimmt, so ist

$$(a + 5{,}8)^x : (b + 5{,}8)^x = b + c : a$$

woraus

$$x = \frac{\log. (b + c) - \log. a}{\log. (a + 5{,}8) - \log. (b + 5{,}8)}$$

Hiernach hat Egen die Simon'schen Versuche berechnet, und die folgenden Werthe für x erhalten, wobei die letzte Columne unter Δ angiebt, um wieviel b vergröfsert werden mufs, damit x = 2 werde.

1 a. a. O.

No.	a	b	c	x	Δ
1	11°,5	7°,5	10	1,6	0°,7
2	15,0	9,5	15	1,6	0,9
3	13,25	7,5	15	1,5	1,3
4	11,0	6,0	14	1,7	0,7
5	13,5	7,5	15	1,4	1,6
6	7,25	3,75	10	2,0	0,0
7	16,0	9,0	20	1,6	1,4
8	8,0	3,5	10	1,2	1,3
9	13,75	6,0	25	1,6	1,2
10	15,0	6,5	25	1,7	0,7
11	10,0	5,0	15	1,8	0,4
12	11,25	5,0	20	1,8	0,6
13	12,5	4,5	30	1,7	0,7
14	8,25	2,75	20	2,0	0,0
15	7,75	2,5	15	1,7	0,7
16	12,5	3,5	35	1,7	1,1
17	11,25	3,0	35	1,8	0,5
18	6,75	1,0	15	1,4	1,3
19	11,75	1,5	45	1,6	1,6
20	7,75	0,5	20	1,3	2,0

Die erhaltenen Werthe von x zeigen, daſs die Versuche mit dem Coulomb'schen Gesetze keineswegs im Widerspruche sind, vielmehr dasselbe bestätigen, auch geht die Genauigkeit des Beobachters daraus hervor, daſs der Theorie gemäſs die Werthe von Δ soviel gröſser sind, je weiter die beiden Ausschläge der Waage aus einander liegen, und je näher die Kugeln nach aufgelegten Gewichten einander kommen. Eine zweite Reihe von 18 Versuchen, welche Simon angestellt, und Egen gleichfalls nach der angegebenen Formel berechnet hat, giebt noch genauere Uebereinstimmung mit dem Coulomb'schen Gesetze. Die übrigen, zu derselben Reihe gehörigen 15 Versuche geben allerdings gröſsere Abweichungen, allein sie sind auch den angegebenen Fehlern am meisten unterliegend, weil die anfängliche Entfernung bei allen 15 Grade betrug. Die ersten 18 dagegen geben folgende Werthe;

No.	a	b	c	x	Δ
1	10°	9°	2,1	1,6	0°,2
2	10	8	4,5	1,6	,3
3	10	7	7,3	1,7	0,4
4	10	6	10,6	1,7	0,5
5	10	5	15,0	1,8	0,4
6	10	3,5	21,0	1,7	0,8
7	10	1,75	30,3	1,6	1,3
8	10	0,0	48,0	1,6	1,4
9	12	11	2,0	1,4	0,3
10	12	10	4,4	1,5	0,4
11	12	9	7,0	1,6	0,6
12	12	8	10,0	1,6	0,7
13	12	7	13,5	1,6	0,8
14	12	6	18,0	1,7	0,8
15	12	5	23,8	1,8	0,7
16	12	3,5	32,0	1,7	1,0
17	12	1,75	45,0	1,6	1,4
18	12	0,0	70,0	1,6	1,6

Sollten die sämmtlichen Versuche mit dem von Simon aufgestellten Gesetze in Uebereinstimmung gebracht werden, so erforderte b bei allen eine Verminderung von etwa 3 Graden, welche anzunehmen nirgend ein wahrscheinlicher Grund vorhanden ist.

Egen verfertigte sich zur Controlirung der Simon'schen Versuche und weiterer Prüfung des Coulomb'schen Gesetzes eine ähnliche Waage, als diejenige war, deren sich Simon bedient hat. Der eine Arm des Waagebalkens bestand aus Messingdraht, um den Schwerpunct willkürlich verändern zu können, der andere aus Gummi-Lack, jeder 3,5 rheinl. Decimalzolle lang. Als Axe dienten zwei feine Nähnadelspitzen, welche vermittelst etwas Gummi-Lack an den Waagebalken gekittet wurden, und auf Achatplatten sich leicht bewegten. An dem Arme von Gummilack befand sich eine Korkkugel 0,335 Dec. Zoll im Durchmesser haltend, am andern der kleine Draht zum Tragen der Gewicht-Ringe, und so wog er 1,522 Gramm. Die Ausschläge der Waage maſs Egen an einer verticalen Eintheilung, wovon jeder Theil 0,05 Decimalzoll betrug. Hiervon konnte der vierte Theil geschätzt werden, welcher 0,00001 Gramm zu

gehörte, so dafs also diese Waage über 5 mal empfindlicher war als die Simon'sche, aber dennoch durch die feinste Coulomb'sche 24 mal, und durch die 16 mal weniger empfindliche ¼ mal übertroffen wurde. Ein zur Waage gehöriger Stab trug eine vierkantige Messingstange, auf welcher ein Schieber sanft auf und ab bewegt werden konnte. An diesem Schieber war ein 4 Dec. Zolle langer Arm von Gummi-Lack befestigt, und an dessen Ende eine Korkkugel gleichfalls von 0,335 Dec. Zoll Durchmesser. Die Gewichttheilchen bestanden aus Drahtstücken von einer besponnenen Guitarresaite, 0,034 Dec. Zoll lang, und gaben jeder im Mittel 1,7 Theile des getheilten Mafses Ausschlag. Weil aber letzterer nicht constant war, so wurde er jederzeit nach 4 bis 5 Versuchen aufs Neue geprüft.

Beim Experimentiren stand die Waage in einem Glaskasten. Nachdem sie zur Ruhe gekommen war, wurde ihr Stand abgelesen, die Kugel am Schieber mit ihr seitwärts in gleiche Höhe gebracht, der Stand des Schiebers genau bezeichnet, dann in die Höhe gerückt, seine Kugel genau lothrecht über die des Waagebalkens gebracht, und die Entfernung beider von einander bemerkt. Beide Kugeln wurden dann gleichnamig elektrisirt, und das andere Ende des Waagebalkens mit so viel Gewichten beschwert, bis der vorige Stand ohngefähr wieder hergestellt war. Dann wurde die Kugel des Schiebers um eine bekannte Gröfse erniedrigt, die Menge der Gewichtstücke vermehrt, bis der Waagebalken ohngefähr wieder auf seinen vorigen Stand zurückgekommen war, in beiden Fällen wurde der Stand des Waagebalkens genau abgelesen, wodurch also beide Abstände und beide Belastungen gegeben waren. Jeder Versuch dauerte etwa 20 Minuten, zwischen dem ersten und zweiten Einspielen der Waage vergingen aber höchstens 2 Minuten, und da die Elektricität sich binnen 5 Minuten nicht merklich zerstreuete, so können sonach die erhaltenen Werthe für hinlänglich genau gelten. Von allen mifslangen nur 3, mitgetheilt hat Egen aber nur die bei gröfseren Entfernungen der Kugeln angestellten. Die ersten 11 Versuche wurden mit schwacher, die folgenden 4 mit stärkerer und die letzten 5 mit noch stärkerer Elektricität gemacht. Egen hat in der sechsten Columne die Correction der ersten Belastung angebracht, welche erforderlich gewesen wäre, um das Coulomb'sche Gesetz genau zu geben. Er bemerkt hierbei, dafs diese Correctionen zuerst die Beobachtungsfehler der beiden Ent-

fernungen und Belastungen enthalten, dann die Gröfse, um welche auch hierbei die Mittelpuncte der elektrischen Repulsion über die geometrischen Mittelpuncte der Kugeln hinausgerückt wurden, und wenn man dann bedenkt, dafs 0,1 eines Gewichttheilchens aus einem Drahtstückchen besteht, welches mit bloſsen Augen nur auf hellem Grunde noch sichtbar ist, dafs ferner das Ansetzen von einigen Sonnenstäubchen, die Veränderung der Temperatur und des Feuchtigkeitszustandes der Luft das Gleichgewicht der Waage stören mufsten, so wird man nicht blofs die Genauigkeit der Versuche zu schätzen wissen, sondern auch gestehen müssen, dafs diese mit unter die feinsten gehören, welche die physikalische Literatur aufzuweisen hat.

Die folgende Tabelle giebt die Uebersicht derselben, wobei die Entfernungen in Theilen angegeben sind, deren 200 auf einen rheinl. Decimalzoll gehen, die Belastungen aber in den angegebenen Gewichttheilen, wovon 8,4=0,001 Gramm betragen.

No.	Erste Entf.	Zweite Entf.	Erste Belastung	Zweite Belastung	Correct. der ersten Belastung	x
1	276	211	0,9	1,3	—0,03	1,4
2	263	204	0,9	1,4	—0,1	1,7
3	256	189	1,2	1,8	—0,2	1,4
4	263	220	1,8	2,7	+0,1	2,3
5	267	201	2,8	5,8	+0,4	2,5
6	207	123	2,5	7,1	0,0	2,0
7	243	156	2,6	6,3	0,0	2,0
8	313	173	2,6	7,3	—0,4	1,8
9	298	175	2,6	8,3	+0,3	2,2
10	312	151	2,6	10,7	—0,1	2,0
11	251	163	2,7	6,6	0,0	2,0
12	326	231	3,0	6,5	+0,2	2,2
13	226	151	4,6	9,1	—0,5	1,7
14	220	148	6,2	12,9	—0,3	1,9
15	271	173	7,3	16,2	—0,5	1,9
16	209	159	10,0	16,1	—0,5	1,8
17	217	159	10,9	20,9	0,0	2,0
18	228	187	11,4	16,4	—0,5	1,9
19	209	159	12,6	21,9	0,0	2,0
20	239	133	13,0	40,5	—0,3	1,9

Der mittlere Exponent für die ersten 11 Versuche beträgt 1,94, für die zweiten 4 aber 1,92 und für die letzten 5 gleichfalls

1,92. Egen meint, es komme auch hierbei noch stets der Einfluſs der ungleichen Vertheilung der Elektricität über die Oberfläche der Kugeln in Betrachtung, und man könne überhaupt die äuſsern Einflüsse bei diesen Waagen weniger vermeiden, auch ihre Feinheit nicht so gut vergröſsern, als bei der Coulomb'schen Drehwaage. Allein die Schwierigkeiten und Störungen sind wohl bei beiden Apparaten gleich groſs, und überhaupt ist Egen dem Exponenten des Verhältnisses der Abstoſsung eben so nahe gekommen als Coulomb. Daſs er nicht wirklich 2 als mittleres Resultat erhalten hat, liegt daran, daſs sich doch stets ein Theil, wenn auch nur ein geringer, der Elektricität zerstreuet. In allen Versuchen ist a zuerst und b zuletzt gemessen. Würden einmal 20 Versuche in umgekehrter Ordnung angestellt; so würde wahrscheinlich b um so viel gröſser und a um so viel kleiner werden, daſs hiernach der mittlere Exponent eben so viel gröſser als 2 würde, als er hier kleiner ist.

4. Elektrometrie durch die Elongationswinkel lothrecht herabhängender Pendel.

Auf diese Weise sind die ersten, und seitdem auch die meisten elektrometrischen Versuche angestellt, ohne daſs jedoch die bei weitem gröſste Zahl derselben als nur mehr genügend gelten kann. Fast alle im vorhergehenden Artikel beschriebene Elektrometer beruhen auf dem Grundsatze, daſs die Kraft der elektrischen Abstoſsung durch den Winkel gemessen werden könne, welchen die sich abstoſsenden Körper mit einander bilden, obgleich die meisten derselben nur als Elektroskope zu betrachten, und zu eigentlichen Messungen nicht brauchbar sind. Im Allgemeinen lassen sich indeſs die hierher gehörigen Elektrometer unter zwei Classen bringen, nämlich zuerst diejenigen, bei welchen die Elektricität über die Oberfläche des ganzen elektrometrischen Körpers verbreitet ist, und diejenigen, bei welchen sie bloſs auf der Oberfläche von Kugeln zurückgehalten wird. Eine nähere Betrachtung beider wird ergeben, in wiefern sich nur die letzteren zu einer sicheren und leichten Elektrometrie eignen.

A. Messung mit Elektrometern, bei denen die Elektricität über die ganze Oberfläche der elektrometrischen Körper verbreitet ist.

Unter diese Classe gehören hauptsächlich als eigentliche elektrometrische Versuche diejenigen, welche J. T. Mayer[1] zur Prüfung des Coulomb'schen Gesetzes angestellt hat, und worauf das Publicum wegen der geübten Fertigkeit jenes berühmten Physikers im Experimentiren und seiner Gewandtheit in der genauen Berechnung der erhaltenen Resultate mit Recht ein vorzügliches Gewicht gelegt hat. Der Apparat, dessen sich Mayer bediente, bestand aus dem eigentlichen Elektrometer,
Fig. 152. einem sehr dünnen Grashälmchen $\alpha\beta$, 4 Z. lang und nur $\frac{1}{4}$ Gran schwer, welches in der zarten Welle c befestigt, nur in der verticalen Ebene sehr leicht beweglich war, indem die Welle c vermittelst höchst zarter stählerner Axen in den genau polirten Vertiefungen $\nu\nu$ mit verschwindender Reibung gedreht werden konnte. Dieses Hälmchen hing an der messingenen, einige Linien breiten, Stange cd herab, welche durch den rechtwinklich gebogenen isolirenden Glasstab def getragen wurde. Mit der messingnen Stange cd in unmittelbarer Berührung war der Messingdraht gk, welcher 0,5 Lin. dick durch die Glasröhre mn ging. Letztere ruhete auf dem lackirten hölzernen Stabe ih, welcher nebst dem Glasstabe def in das Bret LN eingelassen war. Ein Bleigewicht C gab diesem hinlängliche Festigkeit, und vermittelst der Schrauben μ, μ, μ, μ konnte es gestellt werden, um der Messingstange cd die genaue lothrechte Richtung zu geben. Durch den Knopf k und die Kette kr stand das Elektrometer mit der 4 bis 5 F. davon entfernten Flasche A in Verbindung, welche durch einen mit einer isolirenden Handhabe versehenen Leiter geladen wurde, und dann eine Abstofsung des Hälmchens $\alpha\beta$ bewirkte. Aus der Gröfse dieses Abstofsungswinkels bei wechselnder Intensität der elektrischen Spannung berechnete dann Mayer das Gesetz der elektrischen Abstofsung nach der Hypothese, dafs die Stärke derselben dem umgekehrten einfachen oder quadratischen Verhältnisse der Entfernung proportional sey.

---

1 Comment. Soc. Reg. Sc. Gott. recent. Vol. V. ad A. 1819—22. p. 91 ff.

Um für diesen Zweck ein bestimmtes Maſs festzusetzen, nahm MAYER als Einheit diejenige Abstoſsung an, wenn der Abstoſsungswinkel β c d = 90° betrug, wodurch manche Gröſsen, namentlich auch das Gewicht des Hälmchens aus den Formeln für die Berechnung wegfallen, und letztere daher geschmeidiger werden. Hatte das Elektrometer diesen Stand erreicht, welcher also die Spannung der Elektricität in der Flasche A als Einheit ausdrückte, und durch γ bezeichnet wird, so wurde vermittelst des isolirten Entladers eine zweite Flasche B von nahe gleich groſser innerer Belegung aus dem Knopfe der ersteren Flasche geladen, unter der Voraussetzung, daſs sich dann die Elektricität in beide Flaschen gleichmäſsig vertheilen müsse, wonach also nur $\frac{1}{2}\gamma$ in der ersteren A zurückblieb. Nachdem darauf B mit gehöriger Vorsicht entladen war, wurde sie abermals an A geladen, und dadurch der in dieser noch vorhandene Rest von $\frac{1}{2}\gamma$ abermals halbirt, und in dieser geometrischen Progression fort, wobei jedesmal der Winkel gemessen wurde, welcher diesemnach einer elektrischen Spannung $= \gamma$; $\frac{1}{2}\gamma$; $\frac{1}{4}\gamma$; ... zugehörte. Letzteres findet jedoch nur unter der Bedingung statt, daſs die Belegung von A der von B ganz gleich ist. Bei den von MAYER gebrauchten Flaschen war dieses nicht der Fall, allein es ergiebt sich bald, daſs dennoch die Werthe von γ leicht gefunden werden können, wenn die Belegung von A = S; die von B = s genannt, und dann statt der vorigen Gröſsen die folgenden, nämlich γ; $\frac{S}{S+s}\gamma$; $\left(\frac{S}{S+s}\right)^2\gamma$; $\left(\frac{S}{S+s}\right)^3\gamma$.... in Rechnung genommen werden. Heiſst dann allgemein die abstoſsende Kraft der Elektricität $\frac{1}{m}\gamma = \gamma'$, und wird für diese und den ihr zukommenden Abstoſsungswinkel $= \varphi$ eine Gleichung unter der Voraussetzung gesucht, daſs jeder Punct des Grashälmchens von jedem Puncte des messingenen Stabes c d im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung abgestoſsen werde, oder daſs, die abstoſsende Kraft = p, die Entfernung = z genannt, $p = \frac{\gamma}{z^2}$ sey, so findet MAYER durch eine vollständige analytische Entwickelung, welche hier in ihrer ganzen Ausdehnung mitzutheilen zu viel Raum erfordern würde, daſs

$$1.\ \frac{\gamma'}{\gamma} \text{ oder } \frac{1}{m} = \left(\frac{\text{Sin. } 22°,5 \text{ Sin. } \varphi}{\text{Sin. } (45° - \frac{1}{2}\varphi)}\right)^2$$

sey, für denjenigen Fall aber, wenn $p = \frac{\gamma}{z}$, oder die Abstoſsung dem einfachen Verhältniſs der Entfernung proportional ist, wird

$$2.\ \frac{\gamma'}{\gamma} \text{ oder } \frac{1}{m} = \frac{\text{Log. } (2 \text{ Sin. } 45°)}{\text{Log. } (2 \text{ Sin. } \frac{1}{2}\varphi) + \beta\,(180° - \varphi) \text{ Cot. } \varphi}$$

wobei $\beta = 0,00379$ ist, und vorausgesetzt wird, daſs das Grashälmchen βc genau so lang als die Messingstange cd sey. Mayer berechnet dann im Voraus nach beiden Hypothesen diejenigen Spannungen, welche den Abstoſsungswinkeln von 5 zu 5 Graden zugehören, und stellt sie in folgender Uebersicht zusammen.

Winkel φ	Spannung nach 1	Spannung nach 2	Winkel φ	Spannung nach 1	Spannung nach 2
5	0,0023	0,0231	50	0,2977	0,4422
10	0,0098	0,0520	55	0,3651	0,5065
15	0,0225	0,0860	60	0,4393	0,5732
20	0,0414	0,1247	65	0,5199	0,6419
25	0,0668	0,1679	70	0,6065	0,7123
30	0,0986	0,2154	75	0,6989	0,7835
35	0,1378	0,2677	80	0,7952	0,8556
40	0,1839	0,3220	85	0,8960	0,9279
45	0,2372	0,3805	90	1,0000	1,0000

Um die Nähe eines nach Graden getheilten Quadranten und zugleich die des Beobachters selbst zu vermeiden, stellte Mayer eine Tafel mit ihrer Ebene derjenigen Ebene parallel, in welcher sich das Grashälmchen bewegte, in einen Abstand von 4 bis 5 Fuſs hinter diese, trug mit einem Radius von 2 Fuſs einen in Grade getheilten Quadranten auf jene Tafel, brachte das Auge in die gehörige Entfernung, und projicirte die Winkel des Grashälmchens mit der Stange cd auf die Theilung der Tafel, um sie auf diese Weise ohne die sonst unvermeidliche Störung vermittelst einer Lorgnette abzulesen.

Weil bei jeder Entladung der Flasche A auf die mitgetheilte Ladung der Drähte Rücksicht genommen werden muſste, so wählte Mayer, um die letztere Gröſse verschwinden zu machen, groſse Flaschen, deren inwendige Belegung nahe 4 Par.

Quad. Fuſs betrug. Ganz gleiche konnte er indeſs nicht erhalten, fand aber A = 470 Par. Quadratzoll, B = 440. Vorläufige Versuche zeigten, daſs sich der Elongationswinkel des Grashälmchens, während einer ganzen Minute um keine meſsbare Gröſse änderte, und da die Zeit einer ganzen Beobachtung nicht länger als 2 Minuten dauerte, so kann der Einfluſs der Zerstreuung der Elektricität während dieser Zeit füglich vernachlässigt werden. Uebrigens verstattete die Leichtigkeit des Grashälmchens, daſs schon bei mäſsigen Ladungen eine Abstoſsung von 90 Graden erfolgte. Im Mittel aus mehr als 50 Versuchen erhielt Mayer für die elektrischen Abstoſsungskräfte = 1; $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{8}$; $\frac{1}{16}$ die Winkel = 90°; 55°,5; 34°,6; 20°,2; 11°,8. Nimmt man aber bei jenen ersteren Gröſsen auf die ungleichen Belegungen Rücksicht, wonach die Elektricitäten im Verhältniſs von $\frac{S}{S+s} = \frac{47}{91}$ vertheilt wurden, und sucht die zugehörigen Werthe durch eine einfache Interpolation aus den vorstehenden Tabellen, so gehören folgende Werthe zusammen.

Spannung nach der	berechneter Elevationswinkel nach 1	berechneter Elevationswinkel nach 2	beobachteter Winkel
1ste Verth. = $\left(\frac{47}{91}\right)^1$ = 0,516	64,6	55,8	55,5
2te Verth. = $\left(\frac{7}{91}\right)^2$ = 0,266	47,3	35,0	34,6
3te Verth. = $\left(\frac{47}{91}\right)^3$ = 0,137	34,5	21,5	20,2
4te Verth. = $\left(\frac{47}{91}\right)^4$ = 0,070	25,1	12,6	11,3

Die Resultate der Versuche stimmen so genau mit der zweiten Hypothese überein, daſs Mayer nicht anstand, dieser beizutreten, und da auſserdem auch die früheren Versuche von Simon diese bestätigten, die von Parrot und von v. Yelin aber dieselbe gleichfalls unterstützten, so war es natürlich, daſs die Physiker im Allgemeinen diese entweder annahmen, oder die Frage mindestens bei so gewiegten widersprechenden Auto-

ritäten als zweifelhaft ansahen. Egen[1] war, so viel ich weiſs, der erste, welcher sich entschieden für Coulomb's Hypothese erklärte, und daher gegen die Gültigkeit dieser Versuche einige gegründete Zweifel beibrachte.

1. Mayer habe die Vertheilung der Elektricität im Grashälmchen und im Messingstabe als gleichförmig angenommen, allein Flasche, Zuleitungsdraht und Elektrometer bilde einen so unregelmäſsigen Körper, daſs man hierüber gar nicht entscheiden könne, und eine Berechnung derselben ganz unmöglich sey. Wahrscheinlich werde die Schicht der Elektricität nach den Enden β und d zu dichter, wie dieses bei dünnen Cylindern und schmalen Streifen der Fall sey, allein dieses entscheide noch mehr für die zweite Hypothese, weil bei einer Anhäufung aller Elektricität an diesen Enden die Repulsionskräfte sich nach der ersten Hypothese wie die Cubi der Entfernungen[2], nach der zweiten wie die Quadrate derselben verhalten müſsten, da sie sich den Beobachtungen nach fast wie die einfachen Entfernungen verhielten. Eine Berechnung gab Egen daher unter dieser Voraussetzung nur nahe 0,5 als den Exponenten des Verhältnisses des Abstandes, und er sieht dieses Ganze daher nur als eine Einwendung gegen die Zulässigkeit der Versuche überhaupt an.

Hiergegen läſst sich aber mit Grunde der Zweifel erheben, daſs eben die Versuche die Ungültigkeit dieser Einwendung erwiesen, indem eine Abänderung der Voraussetzung noch weiter vom Coulomb'schen Gesetze entferne. Mir scheint vielmehr nicht sowohl aus der ungleichen Vertheilung der Elektricität in Beziehung auf die Enden des Elektrometers ein Einwurf gegen die Gültigkeit der Versuche zu folgen, indem zwar allerdings die Anhäufung hier gröſser seyn muſste, welches aber bei der Länge des Grashalmes mehr verschwindet, als vielmehr in einer Anhäufung derselben an den Kanten des Messingstabes c d. Es ist in der Abhandlung die Breite und Dicke desselben nicht genau angegeben, auch nicht gesagt, ob die Kanten abgerundet waren oder nicht, und obgleich Letzteres zu vermuthen ist, so kann es doch nicht bedeutend gewesen seyn, da dieser Theil des Elektrometers ein Blech von einigen Linien breit (lamina

---

1 Poggendorf Annal. V. 285.

2 S. unten B.

metallica, aliquot lineas lata) genannt wird. Die Breite von einigen Linien ist immer nicht unbedeutend gegen den sehr geringen Durchmesser des Grashälmchens, und da sich *an den Kanten* dieses Bleches die Elektricität vorzüglich anhäufen mufste, so wuchs die abstofsende Kraft derselben mit der Gröfse des Winkels φ, wonach die gemessenen Elongationswinkel allerdings kleiner ausfielen, als sie nach der Coulomb'schen Hypothese seyn mufsten[1].

2. Die Vertheilung der Elektricität im Elektrometer ist, wie Egen ganz richtig bemerkt, nicht blofs ungleichförmig, sondern auch mit dem Winkel φ veränderlich. Weil nämlich die Vertheilung von der Form der Oberfläche abhängt, so mufs sie sich mit dieser verändern, also wenn $\alpha\beta$ gegen c d in eine andere Lage kommt, und namentlich mufs die Gröfse der elektrischen Repulsion mit der Verminderung des Winkels φ abnehmen. Liegt nämlich $\alpha\beta$ auf c d, so enthalten beide Körper nicht viel mehr Elektricität, als früher c d allein enthielt, weil die Oberfläche des Bleches durch die des Grashälmchens nur unbedeutend vermehrt wird. So wie aber φ wächst, häuft sich eine bedeutende Menge Elektricität auf $\alpha\beta$ an, und wird insbesondere nach der Spitze β hingedrängt, weswegen die Abstofsungswinkel stets um so kleiner werden, je näher beide einander rücken, und merklich kleiner, als sie bei einer stets gleichen Vertheilung seyn würden.

3. Aus mehreren Gründen, sagt Egen, konnte der Rest der in der Flasche A zurückbleibenden Elektricität geringer werden, als bei der Berechnung vorausgesetzt wird. Die Elektricität vertheilt sich nämlich nicht nach der Oberfläche zweier Leiter, sondern wenn die Leiter ähnliche Körper sind, so erhält der kleinere verhältnifsmäfsig mehr Elektricität, als der gröfsere. Aus diesem Grunde wurde bei jeder Vertheilung mehr als $\frac{47}{81}$ der vorhandenen Elektricität entzogen. Weniger ist der Verlust an Elektricität durch den Entlader und durch die Zerstreuung in die Luft in Anschlag zu bringen.

---

1 Egen a. a. O. p. 88. hat durch Berechnung gefunden, dafs die Breite des Bleches von keinem mefsbaren Einflusse seyn konnte. Dieses ist allerdings richtig, sofern blofs von der Breite desselben die Rede ist. Betrachtet man dasselbe aber als kantig, und die Kanten nicht abgerundet, so ist die gröfsere Dichtigkeit der Elektricität auf diesen Kanten allerdings von einigem Einflusse.

Ich gestehe, daſs ich diesem Einwurfe, so wie er hier aufgestellt ist, nicht beitreten kann. Allerdings findet eine den Gröſsen der Oberflächen nicht genau proportionale Vertheilung der Elektricität statt, wenn ungleich groſse leitende Körper mit einander in Berührung kommen, deswegen weil sie sich nach Poisson's und Coulomb's Untersuchungen stärker auf den dünneren Theilen der Leiter anhäuft; allein bei Mayer's Versuchen ist bloſs von Oberflächen auf isolirenden Glasscheiben die Rede, und da leidet es wohl keinen Zweifel, daſs bei einer in zwei ungleiche Theile zerschnittenen Belegung die Menge der Elektricität eines jeden der Theile seiner Ausdehnung proportional gefunden werden würde. Die Sache hätte sich leicht controliren lassen, wenn Mayer bei einem oder einigen Versuchen die Flaschen verwechselt, und A mit B vertauscht hätte. Mir scheint indeſs die Flasche überhaupt nicht für Versuche dieser Art geeignet zu seyn, weil man von der Stärke, womit sie einen Theil der mitgetheilten Elektricität gebunden hält, nie versichert seyn kann. Ich habe nämlich sehr oft bei einer Flasche mit beweglichen Belegungen (den Wilke'schen Platten) die Erscheinung beobachtet, daſs sie länger als eine Viertelstunde hindurch ganz als Elektrophor wirkte, d. h. daſs nach dem Losschlagen derselben und gleichzeitiger Berührung beider Belegungen mit zwei Fingern der nämlichen Hand die obere isolirt abgehobene Belegung einen merklichen Funken gab, und diesen Versuch habe ich wohl hundertmal nach einander wiederholt, ohne sehr bedeutende Verminderung des Funkens nach dem Aufheben der oberen Belegung[1]. In diesem Falle war also die Spannung der verbundenen Belegungen fast = 0 bei vorhandener starker Elektricität. Wenn man also annimmt, daſs die Flasche A die genannte Eigenschaft gleichfalls gehabt habe, die Flasche B dagegen nicht, so konnte letztere der ersteren die freie Elektricität in einem stärkeren Maſse entziehen, die gebundene aber am Elektrometer gar keine oder nur geringe Spannung zeigen. Dieser Einwurf kommt zum Theil mit demjenigen überein, welchen Egen

4. gegen die angegebenen Versuche geltend macht, nämlich daſs man nicht versichert seyn kann, ob das Glas beider Flaschen gleich dick war. Bezeichnet man bei einem Conden-

1 Vergl. *Elektrophor*.

sator[1] die auf der einen Seite freie Elektricität mit E, die freie und gebundene zusammen mit E', so ist $E : E' = 1 - m^2 : 1$, wobei m anzeigt, welchen Theil von E die auf der entgegengesetzten Seite gebundene Elektricität ausmacht. Der Werth von m hängt bei Flaschen lediglich von der Dicke[2] des Glases ab, und hat auf die Ladung E' einen sehr bedeutenden Einfluſs, so daſs E in zwei Flaschen gleich, E' aber verschieden seyn kann.

Die hier beigebrachten Einwürfe sind allerdings von der Art, daſs sie das Vertrauen zu den angegebenen Versuchen bedeutend schwächen müssen, obgleich die genaue Uebereinstimmung aller mit dem zweiten Gesetze sehr merkwürdig ist. In dem Umstande übrigens, daſs das eigentliche Centrum des elektrischen Wirkungskreises in den Theilen dieses Elektrometers nicht füglich genau bestimmt werden kann, liegt ein Hauptgrund gegen seine Anwendbarkeit zu Messungen; sonst lieſse sich dasselbe gebrauchen, wenn man groſse Kugeln statt der Flaschen anwendete, und mit beiden einen ganz gleichen elektrometrischen Apparat verbände.

Auſser den angegebenen Versuchen sind keine bedeutende, mit Elektrometern von der genannten Art angestellte, bekannt geworden, elektroskopische Beobachtungen dagegen und vergleichende Messungen der Stärke der erhaltenen Elektricität, an dem nämlichen Instrumente gemacht, sind in Menge vorhanden. Als Meſswerkzeuge gehören hierher die gesammten Blattgoldelektrometer, bei denen man jedoch nur im Allgemeinen von einer gröſseren Entfernung eines einzigen Blättchens vom zurückstoſsenden Körper, oder von der gröſseren Divergenz beider Blättchen von einander auf eine gröſsere Stärke der elektrischen Spannung schlieſsen kann. Sollte eine wirkliche Messung damit statt finden, so müſste auſser dem Abstoſsungswinkel noch das Gewicht der Blättchen nebst ihrer Steifheit bekannt seyn, und es müſsten nicht bloſs diese Gröſsen, sondern auch die Breite derselben bei der Auffindung einer Formel zu ihrer Berechnung berücksichtigt werden. Es würde dieses indeſs zu sehr verwickelten Rechnungen führen, und da dieselben auſserdem für jedes einzelne Instrument aufs Neue angestellt werden müſsten,

---

1 Vergl. Th. II. S. 240.

2 Nach meiner Ansicht kommt auch die isolirende Kraft des Glases, und zwar ganz vorzüglich, in Betrachtung.

so liegen hierin Gründe genug, diese Elektrometer sämmtlich in die Classe bloſser Elektroskope zu verweisen, wozu sie allerdings ganz vortrefflich sind, sowohl wegen ihrer Empfindlichkeit, als auch wegen der Leichtigkeit, womit sich durch sie die Art der Elektricität bestimmen läſst. Es ist diesemnach auch überflüssig, diejenigen Versuche näher zu prüfen, welche PARROT theils vermittelst einer in aliquote Theile zerlegten Zamboni'schen Säule, theils durch Vertheilung der Elektricität an Flaschen von verschiedener Gröſse, beidemale mit Anwendung eines Goldblattelektrometers, angestellt hat[1].

Unter diese Classe von elektrometrischen Messungen gehören auch diejenigen, welche mit den zahlreichen und verschiedentlich construirten Grashalmelektrometern angestellt werden. Indem diese Grashälmchen sehr fein, zugleich aber auch von gröſserer Stärke und genau bestimmtem Gewichte leicht zu erhalten sind, so scheinen sie sehr geeignet zu den feinsten bis zu den stärksten elektrometrischen Messungen. Kommt aber die Frage zur Untersuchung, in wie weit sie zu genauen Messungen angewandt werden können, theils um das Gesetz der elektrischen Repulsion zu bestimmen, theils um die absolute abstoſsende Kraft einer gegebenen Elektricität zu finden, so zeigen sich gar vielfache Schwierigkeiten, weil die Verbreitung des elektrischen Fluidums über diese Hälmchen nicht genau bekannt ist, wie aus den oben angestellten Betrachtungen hervorgeht. Wenn man indeſs diese Elektrometer bloſs zu relativen Messungen anwendet, so muſs durch die Stärke der Elektricität das Gewicht der Grashälmchen überwunden werden. Letzteres ist, eine durchaus gleichmäſsige Dicke derselben vorausgesetzt, in ihrer Mitte vereinigt anzunehmen. Das Gewicht also, womit jedes derselben, beide als gleich angenommen, herabzufallen strebt, ist $= \frac{1}{2}$ l. p. Sin. $\frac{1}{2}\, \varphi$, wenn l die Länge, p das Gewicht und φ den Abstoſsungswinkel beider beweglicher Halme bezeichnet. Bleibt hierbei das gebrauchte Elektrometer das nämliche, so ist die abstoſsende Kraft der Elektricität dem Sinus des halben Elongationswinkels proportional, sind aber bei verschiedenen Elektrometern die Abstoſsungswinkel gleich, so verhält sie sich wie das Product der halben Länge der Hälmchen

1 G. LXI. 274. Vergl. Entretiens sur la Physique par G. F. Parrot. Tom. V. p. 80.

in ihre Gewichte. Im Allgemeinen sind also die elektrischen Kräfte im zusammengesetzten Verhältnisse der Längen, der Gewichte und der Elongationswinkel, und da man statt der Sinusse bei kleinen Bogen die letzteren unmittelbar nehmen kann, so verhalten sich die elektrischen Kräfte bei dem nämlichen Elektrometer wie die Abstoſsungswinkel, welches auch Bohnenberger[1] durch Messungen mit Zamboni'schen Säulen von verschiedener Stärke bestätigt gefunden hat. Es versteht sich, daſs das Centrum der elektrischen abstoſsenden Kraft hierbei stets sich in gleicher Entfernung befinden muſs.

Unter die Elektrometer der letzteren Art gehört vorzüglich Volta's Strohhalmelektrometer, und es ist auffallend, daſs dieser groſse Physiker mit demselben das Gesetz des einfachen Verhältnisses der Entfernungen bestätigt fand. Seine Versuche ergaben nämlich, daſs der Elongationswinkel der Grashälmchen, welcher bei der Entfernung eines elektrisirten Körpers = 1 gleichfalls als Einheit angenommen wurde, bei einem Abstande desselben = 0,5 sich verdoppelte, bei 0,334 Abstand dreifach war[2] u. s. w., so daſs also die Abstoſsungen den Entfernungen im einfachen umgekehrten Verhältnisse proportional waren. Merkwürdig bleibt es hierbei, daſs die Grashälmchen sowohl bei Mayer als auch bei Volta dieses Gesetz so bestimmt bestätigten. Inzwischen glaube ich nicht, daſs auch die Versuche des Letzteren aus den oben angegebenen Gründen als streng beweisen anzusehend sind, und dieses um so weniger, als bei dem von Volta gebrauchten Elektrometer die Abſsoſsung durch die Wände des Glases, worin sein Elektrometer eingeschlossen war, ein bedeutendes Hinderniſs machen muſste.

B. Messung mit Elektrometern, bei denen die Elektricität in einem Puncte vereinigt angenommen wird.

Unter diese Classe gehören alle diejenigen Elektrometer, bei denen Kugeln an fein isolirenden Fäden hängen. Soll die angegebene Bedingung statt finden, so müssen die Fäden zuerst isolirend seyn, damit nicht auch sie selbst Elektricität anneh-

---

1 G. LIII. 346.

2 A. Volta's meteorologische Briefe. Aus dem Ital. Leipzig 1793. S. 11 u. 67.

men, und Repulsion ausüben, und zweitens so leicht, daſs man ihr Gewicht gegen das der Kugeln füglich vernachlässigen kann. Endlich dürfen keine anders gestaltete Körper als Kugeln genommen werden, weil sonst die Elektricität ungleich über ihre Oberfläche verbreitet ist, und man das Centrum ihrer Repulsionskraft nicht so leicht bestimmen kann, welches bei Kugeln bekanntlich in ihrem geometrischen Mittelpuncte liegt.

Was für eine Substanz zu den Kugeln genommen werde, ist nicht gleichgültig. Meistens wählt man Kork oder das Mark trockner Hollunderzweige oder der Sonnenblumenstämme. Diese empfehlen sich allerdings sehr durch ihre groſse Leichtigkeit, haben aber den Nachtheil, daſs sie hygroskopisch wirken, wie Egen[1] an den Korkkugeln beobachtet hat, und bei denen von Hollundermark kaum zu bezweifeln ist. Ob sich ferner die Elektricität über ihre Oberfläche ganz frei und völlig gleichmäſsig verbreite, scheint mir bei der Lockerheit und Porosität dieser Substanzen fast zweifelhaft, und vielleicht liegt hierin zugleich ein Grund, warum Egen's Versuche das Coulomb'sche Gesetz nicht völlig genau gaben. Sobald es also mit der erforderlichen Leichtigkeit verträglich ist, sind möglichst dünne und polirte metallene Kugeln am meisten zu empfehlen.

Die Construction der Elektrometer dieser Art ist eine gedoppelte. Unter die erstere Classe gehören diejenigen, welche nach Art des Henly'schen Quadranten-Elektrometers aus einer festen Kugel und einer sie berührenden, an einem isolirenden Faden aufgehangenen, und in einer verticalen Ebene beweglichen zweiten Kugel bestehen. Sollen sie völlig genau messen, so müssen alle Theile derselben aus vollkommenen Nichtleitern bestehen, auſser den beiden Kugeln, auch muſs diesen die Elektricität auf eine solche Weise zugeführt werden, daſs die Abstoſsung durch sie allein bewirkt wird. Die gewöhnliche Methode daher, diese Elektrometer auf die ersten Conductoren der Maschine zu stecken, so daſs letzterer gleichfalls Repulsion ausübt, läſst nur vergleichbare Versuche mit den nämlichen Elektrometern und ersten Leitern zu.

Die verschiedenen Arten der Messungen mit diesen Elektrometern ergeben sich leicht durch folgende Betrachtung. Es
Fig. 156. befinde sich in a das Centrum der abstoſsenden Kraft, in b das

1 a. a. O. S. 296.

Centrum der abgestoſsenen Kugel, und acb, der Abstoſsungswinkel, heiſse $= \varphi$; es sey ferner das absolute Gewicht der abgestoſsenen Kugel $= p$, so wird die letztere auf einer geneigten Ebene herabzufallen streben, und ihr relatives Gewicht $p' = p \text{ Sin. } \varphi$ seyn. Heiſst dann die Kraft der elektrischen Spannung E, und soll diese dem Gewichte der Kugel $= p'$ gleich seyn, so ist einfach

$$E = p. \text{ Sin. } \varphi.$$

Es läſst sich auf diese Weise nicht bloſs die Gröſse der Spannung verschiedener Elektricitäten durch das Gewicht ausdrücken, sondern man könnte sie auch mit der Elasticität der atmosphärischen Luft vergleichen, wenn man annähme, das letztere einer Quecksilbersäule von der Basis eines gröſsten Kreises der gebrauchten Kugeln und der jedesmaligen Barometerhöhe gleich sey, und unter der Voraussetzung einer der Elasticität proportionalen Dichtigkeit könnte man hieraus die Dichtigkeit der Elektricität finden. Ob aber diese Voraussetzungen richtig sind, ist noch nicht durch die Erfahrung aufgefunden. Bei allen diesen, und in der Folge noch zu erörternden Messungen wird indeſs als nothwendige Bedingung vorausgesetzt, daſs der Mittelpunct des elektrischen Wirkungskreises jeder Kugel mit dem geometrischen Centro der letzteren zusammenfalle, welches um so weniger statt findet, je näher beide einander rücken, worüber oben schon das Nöthige gesagt ist. Die deswegen erforderliche Correction mit in Rechnung zu nehmen, liegt auſser den Grenzen der bisherigen Erfahrungen, indeſs darf man die Messungen nur nicht mit zu kleinen Winkeln anstellen, um gegen diesen Fehler gesichert zu seyn. Endlich versteht es sich schon aus der ganzen Demonstration von selbst, daſs die Theilung des messenden Bogens vom Centrum der Kugel in a anfangen muſs.

Sollen mehrere Elektricitäten mit einander verglichen werden[1], so kommt das Gesetz des Verhältnisses der Entfernung zur Intensität der elektrischen Repulsion dabei in Betrachtung. Angenommen es solle dieses erst gefunden werden, so heiſse der Exponent dieses Verhältnisses $= x$. Die geradlinige Entfernung der abgestoſsenen Kugel ist $= ab$, wonach also die

1 Vergl. Francoeur Traité élémentaire de Mécanique. Par. 1807. 8. p. 118. Kaemtz a. a. O. p. 12.

Kraft der elektrischen Abstofsung $= \frac{E}{ab^x} = \frac{E}{2^x \text{ Sin. } \frac{1}{2}\varphi}$ ist, wenn man die Chorde a d durch 2 Sin. $\frac{1}{2}\varphi$ ausdrückt. Die abstofsende Kraft mufs aber so genommen werden, dafs sie auf die Kugel normal wirkt, welches durch die Linie b d ausgedrückt werden kann, und da $\frac{bd}{ad} = \text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi$ ist, so erhält man $E \frac{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{ Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi}$. Diese Repulsionskraft mufs das Gewicht der Kugel überwinden, welches, wie oben gezeigt ist, = p. Sin. φ ist. Hieraus wird also

$$E = p \frac{2^x \text{ Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi \text{ Sin. } \varphi}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi}.$$

Für eine andere elektrische Repulsion, mit dem nämlichen Instrumente gemessen, wobei also der Winkel φ sich in φ' verwandelt, hat man

$$E' = p \frac{2^x \text{ Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi' \text{ Sin. } \varphi'}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Hiernach also erhält man das Verhältnifs

$$E : E' = \frac{\text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi \text{ Sin. } \varphi}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi} : \frac{\text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi' \text{ Sin. } \varphi'}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi'}$$

und da Sin. $\alpha = 2 \text{ Sin. } \frac{1}{2}\alpha \text{ Cos. } \frac{1}{2}\alpha$ ist, so hat man

$$E : E' = \text{Sin.}^{x+1} \frac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^{x+1} \frac{1}{2}\varphi'.$$

Haben dann E und E' bekannte Werthe, z. B. $E = 1$; $E' = \frac{1}{2}$ u. s. w. so findet man

$$x + 1 = \frac{\log. E - \log. E'}{\log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi - \log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Mifst man aber mit verschiedenen Elektrometern, bei denen das Gewicht der abgestofsenen Kugel ein anderes ist, so ist für gleiche Abstofsungswinkel

$$E : E' = p : p';$$

welches die oben gegebene Formel ist, und dazu dient, die Stärke der elektrischen Abstofsung aus dem Gewichte der gebrauchten Elektrometer zu finden. Es versteht sich von selbst, dafs für ungleiche Werthe von p und p', so wie von Sin. φ und Sin. φ',

$$x + 1 = \frac{\log. E + \log. p' - \log. E' - \log. p}{\log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi - \log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Darf es als ausgemacht angesehen werden, daſs sich die elektrischen Repulsionen umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Entfernungen, so hat man einfach

$$E : E' = \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi'.$$

Nimmt man hierbei eine gegebene Stärke der elektrischen Repulsion und den ihr zugehörigen Sinus des halben Abstoſsungswinkels als Einheit an, so ist

$$E' = \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi'$$

G. G. Schmidt[1] giebt ein bequemes Mittel an, die Elektrometer hiernach zu graduiren. Es sey die Chorde ae diese Einheit. Indem sich nun die Sinus der halben Bogen verhalten wie die Chorden der doppelten Bogen, so ist $E' = \text{chord.}^3\,\varphi$. Man trage also das Doppelte, Dreifache, Vierfache u. s. w. der Chorde ad von a aus auf den Bogen adb, und schreibe dabei die Cubikzahlen von 1; 2; 3; 4 u. s. w., so zeigen diese Grade die Gröſse der elektrischen Repulsion an. Soll endlich die Stärke der elektrischen Abstoſsung durch das Gewicht ausgedrückt werden, so ist

$$E' = \frac{p.\ \text{chord.}^3\,\varphi}{ac}.$$

Man darf also nur das Gewicht der Kugel durch die Länge des Halbmessers des Pendels = ca in solchen Theilen ausgedrückt, wozu die Chorde ae die Einheit giebt, dividiren, und den Quotienten mit den eben genannten Graden des Elektrometers multipliciren.

Die zweite Classe von Elektrometern dieser Art ist diejenige, bei denen beide Kugeln an isolirenden Fäden herabhängen. Alles was oben rücksichtlich der Kugeln, der isolirenden Fäden u. s. w. gesagt ist, gilt aus leicht begreiflichen Gründen auch von dieser Classe, und eben so führt die Berechnung der Art ihrer Wirkung auf die nämlichen Resultate. Es seyen zu diesem Ende die Kugeln an den Fäden in a und b aufgehangen, Fig. 157. so werden sie sich einander abstoſsend stets ein gleichschenkliches Dreieck mit dem Winkel $acb = \varphi$ bilden. Die Abstoſsung geschieht auch hier in der Richtung der Chorde ab, und es ist also die Kraft der elektrischen Abstoſsung $= \frac{E}{ab^x}$. Berücksichtigt man, daſs auch hierbei die Abstoſsung im Verhältniſs von

1 Handbuch der Naturlehre. Gieſsen 1813. I. S. 427.

ad : ab also von Cos. $\frac{1}{2}\varphi$ statt findet, und wird für ab der trigonometrische Ausdruck gesetzt, so ist die abstofsende Kraft wie oben $= \frac{E \text{ Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{ Sin.}_x \frac{1}{2}\varphi}$. Diese Kraft mufs das Gewicht der Kugel überwinden, welches $=$ p. Sin. $\frac{1}{2}\varphi$ ist. Obgleich nämlich zwei Kugeln herabzufallen streben, so ist doch nur das Gewicht der einen zu überwinden, welches von der andern balancirt wird. Dabei ist vorausgesetzt, dafs beide Kugeln gleich schwer sind, und daher genau ein gleichschenkliches Dreieck bilden. Ist dieses nicht der Fall, so würde die Formel p. Sin. $\frac{1}{2}\varphi$ eine Aenderung erleiden. Unter der angegebenen Bedingung aber, nämlich wenn beide gleich schwere Kugeln herabhängend ein gleichschenkliches Dreieck bilden, wäre dann aus

$$\frac{E. \text{ Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{ Sin. }^x \frac{1}{2}\varphi} = \text{p Sin. } \frac{1}{2}\varphi$$

$$E : E' = \text{Sin. }^{x+1} \frac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^{x+1} \frac{1}{2}\varphi'$$

wonach die Berechnung, wie oben, weiter geht. Dafs man übrigens bei kleinen Bogen die Grade füglich statt der Sinus oder der Chorden setzen könne, versteht sich von selbst, jedoch sind die zu kleinen Bogen wegen der aus ihren folgenden Ungewifsheit über das Centrum der elektrischen Atmosphären zu vermeiden.

Unter den Versuchen, welche mit einem Elektrometer dieser Art angestellt sind, erwähne ich die bekannten von Lord Mahon[1], wodurch er die Beschaffenheit der elektrischen Atmosphären, und hiernach das Gesetz der elektrischen Abstofsung den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional auffand. De Lüc[2] hat gegen die Einwürfe Volta's die Genauigkeit jener Versuche dargethan, und so verdienen auch die elektrometrischen Messungen Zutrauen, wodurch er das Coulomb'sche Gesetz auffand. Wäre dasselbe indefs nicht noch anderweitig bestätigt, so liefse sich allerdings die ungewöhnliche Kleinheit des gebrauchten Elektrometers dagegen einwenden, welches aus Korkkugeln von höchstens 0,1 Z. Durchmesser an den fein-

1 Principles of Electricity with an analysis of the superior advantage of high and pointed Conductors. Lond. 1779. 4. Deutsch mit Anm. von Seeger. Leipz. 1789. 8.

2 Neue Ideen über die Meteorologie I. §. 320.

sten leinenen Fäden hängend und durch eine Stange Siegellack isolirt bestand. Inzwischen konnte bei diesem geringen Durchmesser der Kugeln der Unterschied zwischen den Mittelpuncten der elektrischen Atmosphären und der Kugeln am wenigsten einen merklichen Fehler der Messungen erzeugen. Egen[1] bemerkt jedoch, dafs er versucht habe, das Gesetz der elektrischen Abstofsung vermittelst kleiner Korkkugeln, welche an feinen seidenen Fäden aufgehangen und mit Leichtigkeit in verschiedene Entfernungen von einander zu bringen waren, aufzufinden, allein dabei zu der Ueberzeugung gelangt sey, dafs dieses auf dem angegebenen Wege nicht mit Leichtigkeit geschehen könne.

Ueberblicken wir also nochmals die bisherigen Bemühungen der Physiker, das Verhältnifs der Entfernungen zu den elektrischen Abstofsungen aufzufinden, so ergiebt sich sehr bald, dafs es an Fleifs und Sorgfalt zur Aufhellung dieses Gegenstandes nicht gefehlt hat, und wenn die Resultate nicht vollkommen übereinstimmten, vielmehr bedeutend von einander abwichen, so lag die Schuld hiervon hauptsächlich an der grofsen Schwierigkeit der Aufgabe. Uebrigens aber vereinigen sich die meisten und genauesten Versuche dahin, das aus theoretischen Gründen mit grofser Zuverlässigkeit folgende Gesetz der den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportionalen Abstofsung als richtig zu betrachten. Darf man aber dieses annehmen, so gewähren die bisher bekannten Elektrometer genügende Mittel, um entweder durch unmittelbare Anwendung derselben, oder mit einiger Verbesserung ihrer Construction sowohl das Gesetz der Abstofsung weiter zu prüfen, als auch die absolute Repulsivkraft der Elektricität zu messen. Für das Letztere würde aber erforderlich seyn, einen übereinstimmenden Bau der Elektrometer und genaue Bestimmung des Gewichtes der abgestofsenen Kugeln einzuführen, wozu mir de Lüc's Fundamental-Elektrometer mit einem hinlänglich langen Zuleitungsdrahte, an dessen anderem Ende h übrigens die abstofsende Kugel unmittelbar befestigt seyn müfste, indem eine isolirende lothrechte Stange das Hypomochlion p des Pendels mit der abgestofsenen Kugel trüge, am geeignetsten scheint. Die Kugeln selbst müfsten dann von Metall und von verschiedenem genau Fig. 142.

1 a. a. O. S. 294.

bestimmten Gewichte seyn, wenn man, namentlich die Stärke der Elektricität bei Maschinen, messen wollte[1].

M.

Elektrophor.

Beständiger Elektricitätsträger; *Electrophorus perpetuus;* Électrophore perpétuel; *Electrophor;* ein seit dem Jahre 1775 durch ALEXANDER VOLTA eingeführtes Instrument, wodurch man eine lange Zeit elektrisiren kann, ohne die E. aufs Neue erregen zu dürfen. Es vertritt die Stelle einer sehr einfachen und wohlfeilen Elektrisirmaschine.

Schon vor der Erfindung des, im engeren Sinne sogenannten, Elektrophors war dasselbe unter einer andern Form seinen wesentlichen Bestandtheilen nach schon dargestellt. Der um die Elektricitätslehre so hoch verdiente WILKE hatte nämlich schon im Jahre 1762 in seinen Untersuchungen über die entgegengesetzten Elektricitäten[2] eine Art von beständigem Elektrophor an einer entladenen Glasscheibe, deren isolirte Belege sich von derselben nach der Entladung abziehen und wieder daran anbringen liefsen, den Physikern in die Hände gegeben. Er bemerkte[3], dafs diese Belege, nachdem man den el. Stofs durch Anlegung der Hände an dieselben herausgenommen, und zum Ueberflusse dieselben eine kurze Zeit damit in Berührung gelassen hatte, 1. zwar nicht die geringste E. mehr zeigen, so lange sie am Glase liegen, sobald man sie aber beide, oder jede für sich vom Glase abführt, eine überaus starke Funken gebende E. zeigen, die in ihnen von entgegengesetzter Natur ist, und zwar in der während der Ladung positiv gewesenen Belegung sich als negative, in der negativen Belegung dagegen als positive verhält; 2. dafs diese Elektricitäten wieder gänzlich verschwinden, wenn man die beiden Belege, ohne sie zu berühren, wieder zum Glase führt; 3. dafs wenn man diese Elektri-

1 Da die sogenannte *unterirdische Elektrometrie*, die durch PENNET u. a. ausgeübte Metall- und Wasser-Fühlerei, mit der eigentlichen Elektrometrie durchaus nichts gemein hat, überhaupt aber nicht zur Elektrometrie gehört, so ist sie hier ganz übergangen. Vergl. *Elektrophor* a. E. und *Kraft*.

2 Schwed. Abh. für das Jahr 1762. XXIV. Band.

3 a. a. O. S. 271.

citäten von den Belegen, so lange sie vom Glase entfernt sind, durch Berührung ableitet und wieder gegen das Glas führt, diese Belege abermals freie E., aber in einem viel schwächeren Grade, und zwar nunmehr die entgegengesetzte von derjenigen zeigen, die sie vorher getrennt darboten; 4. dafs, wenn sie nun, ohne berührt zu werden, abgehoben sind, sie gar keine E. zeigen; 5. dafs aber die Belege sich wie im ersten Versuche verhielten, wenn sie mit beiden Händen zugleich an das Glas gedrückt und darauf abgehoben werden; 6. dafs endlich auf diese Art das Glas viele Tage und Wochen nach einander die Belege merklich elektrisiren könne, so oft auch der Versuch wiederholt werde, und dafs dieses Vermögen bei heiterem und trockenem Wetter sich oft von selbst im Glase wieder einfinde.

Auch Beccaria hatte unter den Namen des *Electricitas vindex*[1] dergleichen Versuche, wie sie das eigentliche Elektrophor zeigt, namentlich mit zwei Glasplatten, deren metallische Belege durch isolirende Handgriffe abgezogen werden konnten, bekannt gemacht. Indefs behält Volta das unstreitige Verdienst, diesem für die Theorie der E. besonders interessanten Werkzeuge seine jetzige bequeme Einrichtung gegeben, und es mit jenem eigenen Namen in die Geräthschaften der Experimentalphysik eingeführt zu haben. Er kam darauf durch die Veranlassung seines Streites mit Beccaria über des letzteren Grundsatz, der sich selbst wieder herstellenden E. (*Electricitas vindex*). Er leugnete, dafs ein Leiter und ein durch Reiben erregter el. Körper bei ihrer Verbindung ihre Elektricitäten ablegten, und bei der Trennung wieder ergriffen, und behauptete vielmehr, dafs die Elektricitäten nur so lange, als sich einer im Wirkungskreise des andern befände, im Gleichgewichte ständen, oder unwirksam würden, d. h. einander bänden. Er zeigte dieses durch einen auf eine geriebene Harzplatte gesetzten isolirten Leiter, und da Harzplatten ihre durch Reiben erregte E. sehr lange behalten, so gab dieser Versuch das Instrument, dem er den Namen *Elettroforo perpetuo* beilegte, so wie er die so erregte E. *elettricita vindice indeficiente* nannte. Im Junius 1775 theilte Volta die erste ausführlichere Nachricht von seinem Apparate und den damit anzustellenden Versuchen in einem

1 Dell' Elettricismo artificiale etc. Fol. Bologna. 1772.

Briefe an Priestley[1] mit, welchem mehrere Briefe an einige andere Physiker folgten[2]. Die erste Erscheinung des Elektrophors, welche theils durch Privatbriefe, theils durch kleine Schriften bald bekannter wurde[3], war den Physikern fast eben so räthselhaft, als es ehemals der Leidner Versuch gewesen war. Doch sah man bald, daſs sich die Erscheinungen dieses Werkzeuges nicht anders, als durch die Gesetze der el. Wirkungskreise erklären lassen. Die Bekanntmachung des Elektrophors ist daher die Epoche, seit welcher man auf diese bis dahin immer noch vernachlässigte Lehre aufmerksam geworden ist, so daſs dieses Instrument der Theorie eben so viel Vortheil als der Praxis gewährt hat. In Deutschland haben die Versuche mit dem Elektrophore unter den Händen Lichtenberg's auf die interessante Entdeckung der nach ihm benannten el. Figuren geleitet, auch knüpften sich durch Jac. Chr. Schäffer zwei sonderbare Pendelschwingungen an dasselbe an, die in derselben Gegend 30 Jahre später wieder aufgenommen, wenigstens in Deutschland für eine kurze Zeit ein so groſses Aufsehen machten, und bis auf den heutigen Tag noch räthselhaft da stehen.

Einrichtung des Elektrophors.

Die wesentlicheu Theile eines Elektrophors nach der gleich anfangs von Volta angegebenen Einrichtung sind der *Kuchen*, die *Form* und der *Deckel*. Kuchen und Form zusammen heiſsen die *Basis* oder *Unterscheibe*, der Deckel oder Schild (*clypeus*, *scudo*, wie ihn Volta auch nennt) wird im Gegensatz damit auch die *Oberscheibe* genannt.

Der *Kuchen* besteht aus einer Platte von einer nicht leitenden harzigen Materie. Volta empfiehlt als vorzüglich brauchbar eine Mischung aus drei Theilen Terpentin, zwei Theilen

---

1 Scelta di Opuscoli interessanti di Milano. Tome IX. pag. 91. und Tome X. pag. 37.

2 S. auch Lettre de Mr. Alex. Volta sur l'électrophore perpetuel de son invention. In Roz. Observ. etc. T. VII. Juillet 1776. p. 21. und Collezione dell' Opere del Cavaliere Carlo Alessandro Volta. T. I. pag. 105. ff.

3 Lettre de Mr. l'abbé J. (Jacquet) de Vienne à l'Auteur de cet Recueil. Observ. de Rozier. Tome VII. 1776. Juin 501. auch ins Deutsche übersetzt, mit Anmerkungen von A. H. Wien 1776.

Harz, und einem Theile Wachs, und läſst diese einige Stunden hindurch zusammen kochen, indem er am Ende etwas Mennig zur Erhöhung der Farbe untermischt. Er bediente sich auch des bloſsen Gummilacks, anderer harziger Materien und des Schwefels. Das bloſse Pech oder reines burgundisches Harz, ist weniger brauchbar, weil die Masse zu spröde wird. Dr. Pickel giebt eine Zusammensetzung von 5 Theilen Gummilack (in Tafeln), 3 Theilen reinen Mastix, und zwei Theilen venetianischen Terpentin an, welche zusammen in Leinwand gebunden in einem neuen irdenen glasirten Geschirre bei gelindem Kohlenfeuer zerlassen, durch die Leinwand gedrückt, und entweder noch flüssig in die Form gegossen, oder nach dem Erkalten gepulvert, aufgestreut und wieder zerlassen wird. Eine sehr wohlfeile Mischung, die Jacquin angiebt, besteht halb aus Colophonium und halb aus weiſsem Pech mit etwas Terpentin und Zinnober zum Färben der Masse. Der Kuchen zu Lichtenberg's groſsem Elektrophore war aus einer Mischung von gemeinem Harze, Terpentin und Burgundischem Pech geschmolzen. Der Abbé Robert[1] fand als eine vorzüglich gute und die durchs Reiben erregte E. lange an sich haltende Masse eine Mischung aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen Jungfernwachs, 2 Theilen venetianischen Terpentin und ½ Theil Pech. Ich selbst fand eine Mischung aus 8 Theilen Colophonium, 1 Theil Schellack, und 1 Theil venetianischen Terpentin vorzüglich brauchbar.

Die *Form* oder der *Teller* aa wird gewöhnlich aus einer runden metallenen oder auch hölzernen, mit Zinnfolie oder Silberpapier überzogenen Scheibe verfertigt, mit einem aufwärts gebogenen 2 bis 5 Linien hohen Rande (nach der Dicke, die man dem Kuchen geben will), welcher das Abflieſsen der hineingegossenen Harzmasse verhindert. Es muſs jedesmal so viel harzige Composition aufgegossen werden, daſs die Oberfläche mit dem höchsten Theile des Randes vollkommen gleich steht, und man vom Rande des Tellers nichts als die äuſsere Kante sieht. Damit aus der harzigen Masse beim Schmelzen alle Feuchtigkeit und Luft soviel möglich verjagt werde, muſs sie in dem irdenen Topfe eine hinlängliche Zeit (nach der Gröſse des Elektrophors und der auf einmal geschmolzenen Masse) über dem Fig. 158.

1 Goth. Magazin für das Neueste, u. s. w. VII. Bd. 3 St. S. 87. ff.

Feuer erhalten werden, doch muſs das Feuer mit gehöriger Vorsicht regiert werden, damit sie nicht anbrenne, indem hierdurch ihr idioelektrisches Vermögen sehr leidet. Weil beim Aufgieſsen stets Blasen im Harze bleiben, so muſs man glühende Platten oder am besten einen recht heiſsen Stahl, wie man ihn gewöhnlich zum Plätten der Wäsche gebraucht, bereit halten, und diesen nahe an die Blasen bringen, ohne jedoch das Harz zu berühren, damit die Blasen von der Hitze zerspringen, und die an der Oberfläche wieder flüssig gewordene Masse sich in eine Ebene verbreiten. Dadurch kann man einen Harzkuchen im Teller erhalten, der der Ebene und Glätte eines Spiegels sehr nahe kommt. Es verdient jedoch bemerkt zu werden, daſs die Harzhaut, welche sich in diesem Falle oben auf gebildet hat, und die spiegelnd glänzende Oberfläche ausmacht, sey es nun, daſs ihre gröſsere Cohäsion oder eine schwache Oxydation, die sie erlitten, daran Schuld ist, für die Erregung der E. durch Reiben sich nicht so günstig zeigt, als wenn man diese Harzfläche durch feines Bimssteinpulver abreibt, wodurch sie zwar ihre spiegelnde Glätte, aber nicht ihre Ebene verliert, und sehr an Wirksamkeit gewinnt, wie namentlich der Probst Eberle bei der Verfertigung des groſsen Elektrophors für das Wiener Cabinet fand[1]. Nachher im Elektrophor entstandene Risse können zur Noth gleichfalls durch Ueberfahren mit einem recht heiſsen Eisen zugeschmelzt werden.

Eine Dicke des Harzkuchens von anderthalb Linien, ist bei kleineren Elektrophoren hinreichend, wie schon Volta bemerkt, aber bei gröſseren Kuchen von anderthalb bis zwei Schuhen kann man dem Harzkuchen auch wohl eine Dicke von 4—5 Linien geben, die bei den gröſseren Elektrophoren, wie z. B. demjenigen Lichtenberg's schon darum nöthig ist, weil sonst der aus dem aufgehobenen Deckel hervorbrechende Funken den dünnern Kuchen durchbohren könnte, um nach der Form zu gelangen.

Für gewisse Arten des Gebrauches des Elektrophors, namentlich bei der el. Lampe, ist an irgend einer Stelle des Randes ein schmaler Stanniolstreifen von einer solchen Länge, daſs der in der Mitte aufliegende Deckel denselben mit seinem Rande berührt, auf den Harzkuchen mit etwas Hausenblase geleimt,

1 Heidmann's vollständige Theorie der Elektricität. I. Bd. S. 54.

und steht mit dem metallenen Ueberzuge der Form in Verbindung. Er vertritt die Stelle des Fingers, der sonst den Deckel während des Aufruhens auf dem Kuchen berühren muſs, wenn derselbe nach dem Aufheben E. zeigen soll.

Der *Deckel* oder *Schild* b b, oft auch, wenn er ein hoher Cylinder ist, die *Trommel* genannt, besteht aus einem isolirten Leiter, der ringsum etwa 1 oder 1½ bis 2, und bei sehr groſsen Elektrophoren auch wohl 4 bis 6 Zoll schmäler ist, als der Kuchen, und auf denselben genau anschlieſsend, bequem aufgesetzt und abgehoben werden kann. Am wohlfeilsten und leichtesten macht man ihn aus einem Reif von steif geleimten Pappendeckeln, über welchen oben und unten Leder, Papier, oder dünne Leinwand gespannt, dann aber alles rund umher mit Zinnfolie überzogen wird, so daſs die äuſsere Fläche ein vollkommener metallischer Leiter ist. Man kann aber auch eine metallene messingene oder zinnene, am Rande wohl abgerundete, und daselbst etwas dickere Scheibe nehmen. Um diesen Deckel isolirt abheben und aufsetzen zu können, werden an drei oder vier gleich weit von einander abstehenden Orten des Umkreises Löcher schief durchgebohrt, und seidene Schnüre oder Bänder durchgezogen, die man in der Höhe von etwa 10 Zollen zusammenknüpft, oder es wird, was im Ganzen den Vorzug verdient, und welche Einrichtung Volta seinem Elektrophore gleich im Anfange gab, in der Mitte der zum Deckel gebrauchten Scheibe ein gläserner, wohl überfirniſster Handgriff aufgekittet, welcher besonders den Vortheil gewährt, daſs man den Deckel auch in andere Lagen, als in die bloſse horizontale bringen kann.

Fig. 158.

Fig. 159.

Gepreſste Elektrophore.

Diese verdienen vor allen andern den Vorzug, und sind besonders bei den el. Lampen zu empfehlen, bei welchen so viel daran gelegen ist, daſs sowohl durch das Reiben starke E. erregt werde, als daſs sich diese auch so lange wie möglich erhalte. Alle in Formen gegossene Elektrophore haben den Nachtheil, daſs, da sie mit ihrem Umfange an dem aufstehenden Rande der Form fest anhängen, sie sich nach dem Wechsel der Temperatur nicht frei ausdehnen und zusammenziehen können, und daher in der Kälte leicht Risse bekommen, in der Wärme aber sich erheben, und eine convexe Oberfläche annehmen.

Ausserdem ist es kaum möglich, bei dem gewöhnlichen Verfahren die Oberfläche vollkommen eben darzustellen, wovon es doch wesentlich abhängt, dass der Deckel mit seiner ebenen Oberfläche so genau und vollkommen, wie möglich, anschliessen könne. Allen diesen Unvollkommenheiten wird durch das nachfolgende Verfahren abgeholfen.

Auf einer vollkommen ebenen gut polirten Marmorplatte wird ein Stück Zinnfolie, etwas grösser als der Kuchen des Elektrophor werden soll, ausgebreitet, und auf dieselbe ein Ring von dem Diameter und der Höhe des Harzkuchens aufgesetzt, entweder von Blei oder Holz, um welchen gleichfalls Stanniol übergeschlagen wird, so dass die Harzmasse nicht in Berührung mit dem Holze oder Bleie kommen kann. In diese Form wird die oben von mir empfohlene Masse gegossen, und nachdem sie so weit erkaltet ist, dass die obere Fläche noch etwas weich ist, wird eine Stanniolplatte und auf diese eine zweite gleichfalls vollkommen ebene Marmorplatte, oder auch eine Scheibe von recht ebenem Spiegelglase aufgelegt, und mit Gewichten bis zu 10 Pfund beschwert, die man etwa 24 Stunden darauf liegen lässt. Durch dieses Pressen bekommt die Harzplatte eine vollkommen ebene Oberfläche, vorausgesetzt dass die aufgelegte Marmorplatte oder Glasscheibe hinlänglich eben war, worauf man sich bei einer guten Spiegelscheibe verlassen kann. Der erhaltene Harzkuchen adhärirt nicht an dem Stanniol des Ringes, oder kann wenigstens leicht davon losgetrennt werden. Er wird dann auf derselben Stanniolplatte, auf welche er gegossen war, auf eine hölzerne Unterlage gelegt, und um ihn daselbst festzuhalten, kann man eine hölzerne Umgebung über den Kuchen oberhalb etwas greifen lassen, die man durch hölzerne Schrauben an die Unterlage befestigt. Zum Dekkel dieser gepressten Elektrophore mit ganz freiem, nirgend angeschmolzenem, Kuchen, bediene ich mich runder Scheiben von Spiegelglas, welche an ihrer Unterfläche auf das sorgfältigste mit Stanniol, oder Silberschaum überzogen, an ihrem Rande umher durch einen wohl abgerundeten zinnenen Ring, der frei darauf liegt, und den Rand einschliesst, gegen alles Ausströmen von E. gesichert, und in ihrer Mitte mit einer wohl überfirnissten Glasstange als Handhabe versehen sind, und welche unten eine wohl überfirnisste hölzerne Fassung haben, die in eine auf das Glas gekittete hölzerne Schraube eingeschraubt wird.

Die beiden gröſsten ausgeführten Elektrophore sind der in Göttingen von dem dasigen Mechanicus Klindworth verfertigte, und ein noch gröſserer im physikalischen Cabinet zu Wien[1]. Die Harzscheibe des ersteren hatte 7 Schuhe im Durchmesser, und ½ Z. Dicke, und es waren 56 Pfund Harzmasse dazu erforderlich. Der Deckel, massiv von Zinn, hielt 6 Pariser Fuſs im Durchmesser, etwa 2 Linien dick, mit umgerolltem Rande, um das Ausströmen zu verhindern. Bei seinem groſsen Gewichte von 76 Pfund muſste er durch einen Flaschenzug auf und nieder gelassen werden. Er war an 13 vier Fuſs langen Schnüren aufgehängt, die in Ringe, welche in den Deckel gegossen, befestigt und oben in einen groſsen Ring vereinigt waren. Am äuſsern, mit Zinnfolie belegten, Rande der Tafel, in welcher der Harzkuchen gegossen war, befand sich ein Haken mit einer Kette, an deren Ende eine 14 zöllige Kugel hing, welcher Haken mit einem 4 Zoll langen, 1 Zoll breiten, in die untere Tafel eingelassenen Messingstreifen in Verbindung stand. Diese Vorrichtung mit der Kette und Kugel diente, um diejenige Verbindung mit dem Deckel herzustellen, die man sonst mit der Hand macht, weil der dabei entstehende Schlag der Hand zu empfindlich war. Der groſse Elektrophor, mit welchem Lichtenberg seine Versuche anstellte[2], hatte nur 6 Pariser Fuſs im Durchmesser in der Basis, und fünf im Deckel. — Noch gröſser als jener Göttinger Elektrophor ist derjenige im Cabinet zu Wien, dessen ganze Basis 8 Schuhe, der Harzkuchen allein 7 Schuhe 9½ Zoll im Durchmesser und eine Dicke von zwei Zoll hat, zu dessen Verfertigung 5¼ Centner von der von Jacquin empfohlenen Mischung erforderlich waren, der Deckel 10 Zoll im Durchmesser kleiner als die Harzscheibe, aus einem Reife des stärksten Pappendeckels bestehend, der zuerst mit Leinwand, dann mit Zinnfolie gut überzogen ist, und mit vier starken Seidenschnüren mittelst eines doppelten Flaschenzuges auf- und niedergezogen wird. Die leitende Verbindung der Form mit der Trommel, wenn sie auf dem Harzkuchen ruht, wird vermittelst eines Stanniolstreifens hergestellt, wie er oben beschrieben ist[3].

---

1 Lichtenberg's Magazin u. s. w. Bd. 1. St. 2. S. 85.

2 Novi Commentarii. Tom. VIII. 168.

3 Heidmann, vollständige Theorie u. s. w. I. 53.

Statt der harzigen kann man auch andere idioelektrische Substanzen, welche durch Reiben eine eigenthümliche starke E. annehmen, zur Basis des Elektrophors gebrauchen. Vor allen kann dazu das Glas dienen, wie dann das Elektrophor in den Händen Wilke's zuerst unter dieser Form erschien, und nur die Unwissenheit der Franzosen in fremder Literatur macht es erklärlich, dafs Aubert[1] viele Jahre nachher mit seinem Glaselektrophor als mit einer neuen Erfindung auftreten konnte. Nimmt man ein Spiegelglas zur Basis, so vertritt schon die Belegung mit Spiegelfolie die Stelle der Form. Man hat auch seidene und wollene Zeuge zur Basis des Elektrophors gebraucht, welche man am besten in einen Rahmen spannt, und so in freier Luft in eine horizontale Lage bringt[2]. Man darf auch nur einen elektrisirten seidenen Strumpf u. d. g. auf den isolirten Deckel legen, um Wirkungen zu erhalten, die denen des Elektrophors ähnlich sind.

Vilette zu Lüttich hat einen Papierelektrophor aus einem halben Bogen Papier angegeben, welcher stark erhitzt, und mit einem seidenen Tuche oder rauhen Felle gerieben wird. Er hat daraus lebhafte Funken erhalten und Leidner Flaschen damit geladen.

Erscheinungen und Gebrauch des Elektrophors.

Man errege die E. des Kuchens durch Reiben. Ist derselbe wie gewöhnlich, von einer harzigen Composition bereitet, so wird die Erregung am besten gelingen, wenn man mit trockenem, warmen Hasen- oder Katzenfelle oder Flanell reibt. Das allerbeste ist, mit einem doppelt zusammengelegten warmen und trockenen Stücke Flanell, das man mit beiden Händen hält, auf den Kuchen zu schlagen, und bei jedem Schlage den Flanell über den ganzen Kuchen hinweg gegen sich zu ziehen, oder den Kuchen auf eben diese Art, doch stets nach derselben Richtung, zu peitschen, wozu auch ein Fuchsschwanz treffliche Dienste leistet. Durch öftere Wiederholung dieses Schlagens oder Reibens kann man die E. des Kuchens bis zu einem

1 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. Bd. 3tes St. S. 96. ff.

2 S. *Luftelektrophor*.

gewissen Maximum ansehnlich verstärken. — Schäffer fand von 6 maligem bis hundertmaligem Reiben im Kreise die Funken immer noch verstärkt, und ich gelangte gleichfalls beim Schlagen erst nach 120 Schlägen an die Grenze der Verstärkung. Die harzige Scheibe, einmal erregt, insbesondere die der gepreſsten Elektrophore, behält, wenn der Deckel darauf liegen bleibt, die einmal erregte E. Monate und Jahre lang.

Bedient man sich einer Glasscheibe, so dient zur Reibung derselben am besten ein mit Almagama eingeriebenes Leder.

Ein so erregter Elektrophor zeigt folgende Erscheinungen:

1. Setzt man den Deckel, indem man ihn an dem isolirenden Handgriffe hält, auf die Basis, und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, so zeigt er keine E. Ist jedoch der Harzkuchen durch Reiben sehr stark el. geworden und hat der Deckel etwa einige Unebenheiten, so kann er, auch ohne berührt zu werden, durch Mittheilung einige E. erhalten, und dann, ohne vorher berührt worden zu seyn, beim Aufheben einen schwachen Funken geben.

2. Setzt man den Deckel wie in No. 1. auf die Basis, welche nicht isolirt ist, und berührt ihn, so erhält man einen kleinen schneidenden Funken, berührt man dagegen mit dem einen Finger die Form, mit dem andern den Deckel, so fühlt man einen erschütternden Schlag, wie aus einer schwach geladenen Leidner Flasche. Berührt man den auf den Harzkuchen isolirt aufgesetzten Deckel im Dunkeln, um den Funken daraus zu ziehen, so sieht man zugleich die in der Nähe der Form befindlichen Körper, die mit einem sehr dünnen Ueberzuge eines guten Leiters versehen sind, z. B. die vergoldeten Leisten einer Commode, leuchten.

3. Nach diesen Berührungen zeigt weder der Deckel noch die Form weiter einige Spuren von E.

4. Hebt man hierauf den Deckel mit den Schnüren oder der Glasstange isolirt auf, entfernt ihn genugsam von der Basis, und berührt ihn wieder, so erhält man einen oder mehrere stechende Funken, wie von einem gewöhnlichen durch die Umdrehung der Elektrisirmaschine geladenen Conductor. Diese Funken sind stärker, wenn man den Deckel und die Form zugleich, als wenn man nur den Deckel allein berührt hat. Auch in diesem Falle beim Herausziehen des Funkens aus dem auf-

gehobenen Deckel nimmt man dasselbe Leuchten der gleichen Umgebungen wie bei No. 2 im Dunkeln wahr.

5. Die E. des berührten und dann aufgehobenen Deckels ist derjenigen des Kuchens oder der Basis entgegengesetzt. Beim Harzkuchen ist sie demnach positiv (doch hat Volta bei einem Kuchen von harziger Mischung die sonderbare Anomalie entdeckt, daſs derselbe, er mochte ihn nun mit der Hand, mit irgend einem Stoffe, mit Papier u. s. w. reiben, stets positiv elektrisirt wurde[1], bei der Glasbasis, die durch Reiben mit Amalgama elektrisirt worden ist, negativ.

6. Die E. des aufgesetzten noch nicht berührten Deckels ist dagegen derjenigen der Basis gleichartig.

7. Das No. 2—4 beschriebene Verfahren läſst sich, so oft man will, wiederholen, ohne daſs der Kuchen etwas merkliches von seiner E. verliert, bis ihm endlich nach längerer Zeit Luft und Feuchtigkeit dieselbe entziehen. So kann man von einer einzigen Reibung oft Monate lang el. Funken erhalten, daher das Instrument der *beständige Elektricitätsträger* genannt worden ist. Dasselbe gilt auch für den Wilke'schen Elektrophor, der aus einer Ladungsscheibe, deren Belege von ihr getrennt werden können, besteht, und nach vorhergegangener Ladung entladen, keine weitere Reibung wie der gewöhnliche Elektrophor erfordert, um unter denselben Umständen, wie die von No. 2 — 4 angeführten ununterbrochen Funken von ungeschwächter Stärke Stunden und Tage lang zu geben, nur daſs besonders bei feuchter Witterung seine Wirksamkeit früher abnimmt, und sich endlich ganz verliert.

8. Man isolire die Basis so vollkommen wie möglich, und errege durch Reiben die negative E. des Harzkuchens. Sogleich wird die Form freie negative E. zeigen, wie man sich durch ein Strohhalm- oder Korkkugelelektrometer überzeugen kann, das man mit der Form in Verbindung setzt. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, so zeigt auch ersterer, durch ein Elektrometer geprüft, negative E., und die der Form nimmt etwas an Stärke ab. Berührt man hierauf den Deckel, ohne zugleich die Form zu berühren, so erhält man einen Funken, der jedoch schwächer ist, als wenn man denselben Versuch bei nicht isolirter Basis anstellt, die E. des Deckels verschwindet gänzlich,

---

1 Journal de Physique 1776. VII. Juill. p. 23.

auch die Kügelchen oder Strohhälmchen des mit der Form in Verbindung stehenden Elektrometers gehen langsam zusammen, bis zur Berührung, und dann wieder von neuem aus einander mit entgegengesetzter positiver E.

9. Hebt man den Deckel, nachdem man ihn einseitig berührt hat, in die Höhe, indem die Basis fortwährend isolirt bleibt, so gehen die Kügelchen des mit der Form in Verbindung stehenden Elektrometers abermals langsam zusammen, und nachdem sie sich berührt haben, von neuem aus einander, und zwar wieder, wie im Anfange des vorigen Versuches der Fall war, mit negativer E. Der aufgehobene Deckel zeigt positive E., jedoch in einem geringeren Grade, als wenn man den Versuch bei nicht isolirter Basis angestellt hat.

10. Wenn man wie in den vorigen Versuchen verfährt, die schneidenden Funken aus dem auf dem Kuchen ruhenden Deckel nimmt, und eine Verbindung zwischen dem Deckel und der noch isolirten Form macht, so erhält man einen neuen mehr erschütternden Funken, Form und Deckel zeigen dann keine weitere Spur von E. — hebt man aber den Deckel auf, so zeigen beide freie E., und zwar das Maximum, was sie überhaupt zeigen können, der Deckel positive, die Form negative. Es versteht sich von selbst, daſs wenn man statt erst einseitig den Deckel berührt zu haben, sogleich eine Verbindung zwischen der Form und dem Deckel durch den Finger macht, man auch sogleich den erschütternden Funken erhält, ungeachtet in diesem Falle beide Belege des Harzkuchens (denn diesen Namen verdienen der Deckel und die Form) einerlei freie negative E. besitzen.

11. Wird der Deckel nach der Berührung aufgehoben, und ohne dann in der Höhe berührt worden zu seyn, wieder niedergelassen und aufgesetzt, so sind Form und Deckel ganz todt, und ohne einige Merkmale von E.

Alle diese Erscheinungen, besonders aber die von 8—11 lassen sich vorzüglich lehrreich an demjenigen Elektrophore darstellen, welcher aus einer Ladungsscheibe besteht, deren Belege von derselben abgezogen werden können. Am besten dient dazu eine in einem Rahmen gefaſste Scheibe, die mit seidenen Schnüren senkrecht in einem Gestelle aufgehängt ist, das aus zwei Paar senkrechten Glassäulen besteht, welche oben durch einen quer gehenden Glasstab vereinigt sind. Zu den Belegen

dienen zwei dünne, recht ebene, Messingscheiben, mit etwas dickerem wohl abgerundetem Rande, die in senkrechter Stellung an Glassäulen, die in einem soliden Fuſs von überfirniſstem Holze eingelassen werden, befestiget sind. So kann man beide Belege oder nach Willkür auch nur eines von der Glasscheibe und zwar in vollkommen isolirtem Zustande abziehen, während beim gewöhnlichen Elektrophore die Form stets mit dem Kuchen verbunden bleibt. Hat man die Scheibe geladen und dann entladen, indem man zwischen beiden Belegen eine leitende Verbindung gemacht hat, so findet gerade derselbe Zustand statt, den der gewöhnliche Elektrophor zeigt, wenn man den Deckel auf den, durch das Reiben elektrisirten, Kuchen aufgesetzt, und diesen und die Form mit den Fingern berührt hat. Zieht man die beiden Scheiben dann isolirt ab, so zeigen sie entgegengesetzte Elektricitäten, und zwar jede derselben auch die entgegengesetzte von derjenigen, mit der sie vorher geladen gewesen war. Beraubt man sie durch Berührung ihrer E., und drückt sie beiderseits wieder an die Glasscheibe im isolirten Zustande an, so zeigen sie abermals freie E., aber die entgegengesetzte von derjenigen, die sie abgezogen hatten, nur dem Grade nach etwas schwächer. Berührt man beide mit dem Finger, wobei man einen schwachen erschütternden Funken erhält, und zieht sie abermals ab, so wiederholt sich die erste Erscheinung. Ich habe auf diese Weise ganze Stunden hindurch lange Funken aus den beiden Scheiben ausziehen können, doch waren hier, wenn die Funken aus den abgezogenen Scheiben genommen wurden, die negativen Funken der einen Scheibe etwas länger, als die positiven der andern, wenn nämlich die Ladung der Scheibe vom positiven Conductor ausgegangen war.

Man wird aus diesen Phänomenen des Elektrophors seinen Gebrauch leicht abnehmen können. Der berührte und von der Basis abgezogene Deckel thut nämlich alle Dienste eines elektrisirten Conductors, an dem man die Wirkungen der el. Anziehung wahrnehmen, einen Funken ziehen und eine Flasche laden kann, wenn man den Funken aus dem Deckel in ihren Knopf schlagen läſst, indem man die Flasche an ihrer äuſseren Belegung mit der Hand umfaſst, oder diese sonst mit dem Erdboden verbindet. Zwar ist mit dem ausgezogenen Funken auf einmal alle E. des Deckels erschöpft, man kann ihm aber dieselbe durch ein neues Aufsetzen auf den Kuchen, Be-

rühren und Abheben, sogleich wieder geben, und indem man auf diese Weise wiederholt Funken in den Knopf der Flasche schlagen läſst, die Ladung derselben immer mehr verstärken, bis auf den Punct, wenn die freie Spannung der E. in der Flasche einen Grad erreicht hat, der gleich ist dem Grade der el. Spannung des aufgehobenen Deckels. Man kann auch eine Flasche auf ihrer inneren Belegung negativ laden, wenn man sie auf den Deckel stellt, mit demselben negativ aufzieht, und dann ihren Knopf berührt, oder wenn man sie beim Knopfe hält und den Funken aus dem Deckel in die äuſsere Belegung schlagen läſst. Solchergestalt vertritt der Elektrophor die Stelle einer Elektrisirmaschine, die er nebenbei an Wohlfeilheit übertrifft, und kann wegen seiner geringen Gröſse und der langen Dauer seiner E. nach einer einmaligen Erregung durch Reiben sehr bequem zu vielen el. Versuchen gebraucht werden.

Vermittelst geladener Flaschen kann man die Kraft eines Elektrophors beträchtlich verstärken, wie schon Volta dieses sinnreiche Verfahren angegeben hat. Man ladet nämlich erst eine Flasche durch den Deckel des Elektrophors, stellt dieselbe auf den Kuchen, faſst den Knopf mit der Hand und führt die Flasche mit ihrer äuſseren Belegung auf dem Kuchen hin und her. So entladet sich die äuſsere Belegung allmälig durch Abgeben ihrer negativen E. an den Kuchen, während die positive E. durch den Finger eben so stufenweise und ohne eine Erschütterung zu ertheilen abflieſst, und die Basis wird dadurch eine weit stärkere — E., als durch bloſses Reiben, erhalten. Entläſst die Flasche nichts mehr, indem man sie auf diese Weise fortrückt, so ladet man sie wieder, und verfährt wie zuvor, bis man mit der Flasche auf dem ganzen Kuchen herum ist. Nur muſs man sich in Acht nehmen, daſs man mit der Flasche dem äuſsern Rande der Form, wenn nämlich der Elektrophor nicht isolirt ist, nicht zu nahe komme, weil sich sonst dieselbe leicht durch einen starken Funken auf einmal entladen kann, in welchem Falle man dann von der Erschütterung getroffen wird. Um dieses zu vermeiden, kann man daher auch so verfahren, daſs man, wenn man die Flasche auf die Basis gestellt hat, durch einen Auslader eine Verbindung zwischen dem Knopfe und der Form herstellt, und die Flasche mit einer Glasröhre über den Elektrophor auf dem ganzen Theile seiner Ebene, auf welchem der Deckel beim Gebrauche aufruht, fortschiebt. War der

Elektrophor erst ungemein schwach, und konnte daher die Flasche nur erst schwach durch denselben geladen werden, so wird der, durch die Entladung der Flasche auf demselben verstärkte Elektrophor diese Flasche seinerseits stärker laden, der Elektrophor erhält also auf diese Weise die ganze Verstärkung im Grunde aus sich selbst, und dieses giebt ihm noch mehr Ansprüche auf die Benennung eines *beständigen Elektricitätsträgers.* Fährt man mit dem Knopfe der geladenen Flasche, welcher + E. hat, auf dem Kuchen hin und her, indem man die — E. haltende Belegung in der Hand hält, so erhält der Kuchen + E., wodurch anfänglich seine durch Reiben vorher in ihm erregte — E. aufgehoben wird, und im Fortgange ein Ueberschufs von + E. entsteht[1]. Durch diese Verstärkungsmittel, indem man selbst ganze Batterieen statt einzelner Flaschen zu Hülfe nimmt, und man den Elektrophor in grofsen Dimensionen ausführt, kann man seine Wirkungen denjenigen der stärksten Elektrisirmaschinen ganz gleich machen. Aus dem isolirten Teller des Klindworth'schen Elektrophors zog man nach dem Reiben mit dem Hasenfelle Funken von 4—6″, machte man die Verbindung zwischen der Form und dem Deckel mit der Hand, so erhielt man einen erschütternden Funken wie aus einer starken Leidner Flasche, drei bis vier Funken des aufgehobenen Deckels luden eine Leidner Flasche von einem Quadratfufs Belegung so stark, dafs sie ausströmte. Die Funken des aufgehobenen Deckels fuhren oft blitzähnlich von einer Länge von 15″ und der Dicke eines Gänsekiels auf die Harztafel, und zerschmetterten das Harz.

Theorie des Elektrophors.

Dafs sich die Erscheinungen dieses Werkzeuges ganz auf Vertheilung gründen und ihre Erklärung aus der Theorie der el. Wirkungskreise schöpfen, ist schon aus dem Perpetuellen desselben klar, welches nicht statt finden könnte, wenn der geriebene Harzkuchen etwas von seiner E. mittheilen sollte. Zwar trug Jacquet in der ersten ausführlichen Nachricht vom Elektrophore, in welcher übrigens die Erscheinungen desselben mit aller Genauigkeit angegeben sind, noch sehr verworrene Ideen zur Erklärung desselben vor, indem er von einer Erregung der E. in dem Harzkuchen durch blofse Erstarrung in der metallenen

1 S. *Elektrophor, doppelter.*

Form ausging, und indem er dem Harzkuchen negative E. im Franklin'schen Sinne, d. h. einen Mangel am natürlichen Antheile von E., und also ein Vermögen E. anzuziehen zuschrieb, doch zugleich eben diesem Harzkuchen ein Vermögen beilegte, das el. Fluidum der benachbarten Körper zurückzustofsen. Glücklicher erklärte dagegen Socin[1] und Ingenhouss[2] die Erscheinungen desselben aus den Gesetzen der Vertheilung, und der letztere besonders hat seine Erklärung gänzlich dem Franklin'schen Systeme anzupassen gesucht. Dagegen gründen sich die weit vollkommeneren Erklärungen Wilke's[3] und Lichtenberg's[4] auf die Theorie zweier Materien, welche auch hier, wie von allen el. Erscheinungen eine genügendere Rechenschaft giebt, als die Franklin'sche Theorie.

Da sich die dualistische Erklärung sehr leicht nach dem, was bereits unter dem allgemeinen Artikel *Elektricität* abgehandelt worden ist, in die Franklin'sche Sprache übersetzen läfst, so wird es vollkommen hinreichend seyn, nur die erstere vollständig zu liefern, und die Abweichungen der letztern mit ein Paar Worten bemerklich zu machen. Ich gebe diese Theorie hier so, dafs daraus die Ursachen der Erscheinungen in eben der Ordnung erhellen, in welcher oben die Erscheinungen selbst abgehandelt worden sind.

1. Setzt man auf die durch Reiben negativ el. gewordene Fläche des Harzkuchens den isolirten Deckel, so wird seine 0 E. durch Anziehung des + E. von dem — E. des Harzkuchens, und Zurückstofsung des — E. vertheilt oder zersetzt. Es verhält sich alles hierbei eben so, wie wenn ein 0 el. Leiter in den Wirkungskreis eines positiven oder negativen Conductors gebracht wird, nur mit dem Unterschiede, dafs wegen der ebenen Beschaffenheit der Fläche, und wegen der grofsen Adhäsion der E. an Nichtleiter, besonders Harze, der indifferente Leiter in unmittelbare Berührung mit dem elektrisirten Nichtleiter gebracht werden kann, ohne dafs ein Uebergang der E. statt findet, und daher eine verhältnifsmäfsig um so gröfsere Menge von

1 Anfangsgründe der E. Hanau 1778. 8. Achte Vorlesung.

2 Philos. Trans. Vol. 68. P. II. p. 48. übers. in den Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. II. Bd. 5tes St. S. 515.

3 Schwed. Abhandl. XXXIX. 54. 116. und 200.

4 6te Aufl. von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre. Göttingen 1794.

0 in + und — zerlegt wird. Hebt man den Deckel aber unberührt wieder ab, so hören die Wirkungen der Vertheilung, welche vom geriebenen Harzkuchen ausgingen, wieder auf, das + und — E. des Deckels treten wieder in ihr natürliches Gleichgewicht, und der Deckel zeigt nach wie vor 0 E. Hat indeſs der Deckel scharfe Ecken oder Spitzen, so kann, während der Deckel noch auf dem Kuchen aufruht, das zurückgetriebene mit freier Spannung begabte — E., auch ohne daſs der Deckel vom Finger berührt wird, wenigstens zum Theil entweichen, oder sich mit einem verhältniſsmäſsigem Theile + E. aus der umgebenden Luft zu 0 neutralisiren, und wenn dann der Deckel aufgehoben wird, so findet sich nicht mehr das volle — E., um das während des Aufruhens des Deckels gebunden gewesene und nun wieder frei gewordene + E. vollkommen zu neutralisiren, und der Deckel kann also unter diesen Umständen freie positive E. geben.

2. Wird der Deckel auf dem Kuchen liegend berührt, so verbindet sich sein zurückgestoſsenes und frei gewordenes — E. mit eben so viel + E. des Fingers durch einen Funken. Dieses (+ —) E. ist = 0, und nachdem der Funken genommen worden ist, muſs also der Deckel wieder vollkommen indifferent seyn, da das + desselben durch das — E. des Kuchens vollkommen gebunden ist. Uebrigens gilt, was die Art der Vertheilung der beiden Elektricitäten in dem Deckel des Elektrophors in dem Augenblicke, daſs er auf dem Harzkuchen aufruht, betrifft, alles dasjenige, was über diese Vertheilung und einen gewöhnlichen Leiter unter dem allgemeinen Artikel „*Elektricität*“ bereits aus einander gesetzt worden ist. Das — E. der obern Seite des Kuchens wirkt indeſs nicht bloſs auf das 0 E. des Deckels, wenn derselbe aufgesetzt wird, sondern auch auf das 0 E. der untern Seite oder der Form, und bindet im Verhältniſs der Distanz, welche von der Dicke des Harzkuchens abhängt, das + E. desselben; dadurch wird — E. an dieser untern Seite des Kuchens frei, geht aber, wenn die Basis nicht isolirt ist, in den Tisch über, oder sättigt sich mit + E. aus demselben; wird aber der Deckel aufgesetzt, so ändern sich die Umstände. Das — E. des Kuchens zieht jetzt das + E. des Deckels an, und kann daher nicht mehr soviel + E. der untern Seite binden; doch erreicht diese Wirkung auf das + E. des Deckels und die Abnahme der Wirkung auf das + E. der Form

oder das Freiwerden desselben dann ihr Maximum, wenn zugleich das — E. des Deckels, das seiner Seits auch noch gegen das vorher mit ihm zu 0 verbunden gewesene + E. eben desselben Deckels anziehende Wirkung äufsert, und daher seine Wirkung auf das — E. des Kuchens beschränkt, von Aufsen beschäftigt oder abgeleitet wird. Daher in dem Augenblicke der Berührung des Deckels das Leuchten der vergoldeten Leisten einer Commode durch das Ausströmen des frei gewordenen + E.; berührt man ferner, statt des Deckels allein, Deckel und Form zugleich, indem man den einen Finger erst an die Form ansetzt und dann am Deckel schliefst, so wirken gleichzeitig beide Elektricitäten in den Finger ein, da in dem Augenblicke, dafs man oben schliefst, und das — E. des Deckels ableitet, auch das + E. an der Form sich nun erst entladet, und mit dem — E. im Finger selbst sich ausgleicht.

3. Weil bei diesen leitenden Verbindung der Form und des Deckels + E. und — E. einander sättigen, indem gerade soviel + E. verhältnifsmäfsig frei wird, als von dem + E. des Deckels das — E. des Kuchens gebunden hat, und diesen letzteren + E. auch das frei gewordene — E. des Deckels proportional seyn mufs, so zeigen nach dieser Berührung Form und Deckel weiter keine freie E. mehr.

4. Hebt man aber nunmehr den Deckel auf, und bringt ihn aus dem Wirkungskreise des Kuchens heraus, so wird sein vorher durch das — E. des Kuchens gebunden gewesenes + E. wieder frei, und giebt einem genäherten Leiter einen positiven Funken. Hat man vorher Deckel und Form zugleich berührt, so ist dieser Funken stärker, weil wegen der Anziehung des + E. der untern Seite des Kuchens durch das — E. des Deckels, das — E. des Kuchens stärker auf den Deckel wirken, mehr 0 zersetzen und mehr + E. anziehen konnte.

5. Aus dem Angeführten ergiebt sich auch ohne weiteres von selbst, dafs der nach der Berührung aufgehobene Deckel positiv seyn mufs, wenn die obere Seite des Kuchens negativ ist.

6. Dagegen mufs der Deckel vor der Berührung unter denselben Umständen negative E. zeigen.

7. Die jedesmalige Erneuerung der Wirkung bei jedesmaliger Wiederholung des Verfahrens ohne merkliche Schwächung erklärt sich daher, weil der Kuchen hierbei *nicht durch Mittheilung* sondern *blofs durch Vertheilung* wirkt.

8—9. Diese dem ersten Anscheine nach zum Theil sonderbaren Erscheinungen erklären sich gleichfalls genügend, wenn man nur auf folgende schon in dem Artikel „*Elektricität*“ im Allgemeinen entwickelten Sätze Rücksicht nimmt, dafs freie E. ihre vertheilende Wirkung, d. h. ihre Anziehung gegen die ihr entgegengesetzte, und ihre Zurückstofsung gegen die ihr gleichnamige, die zusammen die el. Indifferenz bilden, nach allen Richtungen ausübt, dafs die Gröfse dieser Wirkung stets eine Function sowohl der Energie der freien E. selbst, als auch der Entfernung ist, von welcher der el. Körper auf diejenigen wirkt, welche eine solche Vertheilung zulassen, und daher zunimmt, sobald entweder die Entfernung abnimmt, oder die Quantität vergröfsert wird, und dafs endlich diese Wirkung mit einer gewissen Langsamkeit durch Schichten von Nichtleitern von einer schon merklichen Dicke sich hindurch erstreckt, dagegen durch Leiter mit einer so gut als instantanen Geschwindigkeit fortpflanzt. So findet also in dem Versuche 8 die Wirkung der negativ elektrisirten Oberfläche des Harzkuchens auf das 0 der Form eben so statt, wie auf das 0 des Deckels, welche Form in gewissem Sinne einen untern Deckel oder eine untere Belegung des Harzkuchens darstellt, von welchem der Deckel die obere Belegung ist. Aus dem 0 wird also das + E. von dem — E des Harzkuchens wegen seiner überwiegenden Menge stärker angezogen und das — E. stärker zurückgetrieben als das — sein + anzieht und von demselben zurückgehalten wird. Es mufs also freies — E. in der isolirten Form in dem Augenblicke zum Vorschein kommen, in welchem der Harzkuchen gerieben wird. Setzt man alsdann den Deckel auf, so wirkt dieser durch sein + E. welches er in seinem 0 mitbringt, gleichzeitig auf das — E. der obern Fläche des Harzkuchens; dieses + wird verhältnifsmäfsig einen Theil dieses — beschäftigen, dadurch wird die Wirkung dieses — auf das 0 der Form, oder vielmehr seine anziehende gegen das +, seine zurückstofsende gegen das — abnehmen, ein Theil + und — wird sich wieder zu 0 verbinden, das — der Form wird schwächer werden, aber sich doch immer noch als — behaupten, zugleich wird aber auch ein Theil des 0 des Deckels zerlegt, das + E. angezogen und gebunden, das — E. zurückgetrieben werden, und als freie negative E. nach aufsen wirken, beide Belege werden also nunmehr negativ erscheinen. Berührt man aber den Deckel, so kann demselben

neue positive E. zugeführt werden, wodurch seine freie negative E. auf 0 zurückgeht, und also die positive E. des Deckels ihre vorher zwischen die negative des Deckels und die negative des Harzkuchens getheilte Wirkung ausschliefslich auf die letztere ausüben kann. Dadurch wird diese bei dem Mangel einer in Betracht kommenden Entfernung zwischen dem Deckel und Kuchen, und da im Augenblicke der Berührung des Deckels ein unerschöpflicher Quell von + für das — des Harzkuchens vorhanden war, vollkommen gebunden, auch ein Theil negativer E. der in dem Harzkuchen durch die repulsive Kraft der an der Oberfläche befindlichen etwas hineingedrängt worden war, nach aufsen gezogen, und durch das + des Deckels latent gemacht, und dadurch die Wirkung auf das + E. der Form vernichtet. Dieses verbindet sich wieder mit seinem — zu 0. Die Pendel des Elektrometers gehen demnach zusammen, und da es unvermeidlich ist, dafs während der Anstellung des Versuchs ein Theil des frei gewesenen — E. der Form, wenn auch nur durch die Luft abgeleitet wurde, so wird das frei gewordene + E. nicht vollkommen zu 0 neutralisirt werden können, weil seine verhältnifsmäfsige Menge mehr beträgt, und die Kügelchen des Elektrometers werden also mit positiver E. aus einander gehen. Wird dagegen der Deckel aufgehoben, so tritt wieder die vorige Wirkung des — E. des Harzkuchens auf das + E. der Form ein, und da auch von diesem während des Versuchs ein Theil entwichen seyn mufste, so ist es nicht mehr hinreichend das — E. des Kuchens vollkommen zu befriedigen, vielmehr zerlegt dieses noch einen Antheil von $\frac{+}{-} = 0$, welches in der Form noch zurück ist, zieht das + E. an und macht das — frei, welches also nunmehr auf das Elektrometer wirken kann.

10. Dafs bei isolirter Basis, auch nachdem man bei dem aufgesetzten Deckel den stechenden negativen Funken genommen hat, doch noch ein erschütternder empfunden wird, wenn man, während der eine Finger mit dem Deckel in Verbindung bleibt, einen andern Finger an die Form bringt, erklärt sich daraus, dafs das + E. der Form nun erst in Wechselwirkung mit — E. im Deckel treten kann, und in diesem Augenblicke das — E. des Kuchens gleichsam auf neues 0 des Deckels einwirkt, und dieses zurücktreibt, welches im Finger sich mit dem + der Form ausgleichend eben die erschütternde Empfindung verursacht.

11. Der Erfolg von dem unter dieser Nummer angegebenen Versuche erklärt sich schon hinlänglich nach dem Principe der Identität, da in demselben die Verhältnisse wieder hergestellt werden, unter welchen sich nach No. 2 keine weitere Spur von freier E. im Deckel mehr zeigte.

So verwickelt diese Theorie dem ersten Anblicke nach auch erscheinen mag, so ist sie doch höchst einfach, und erfordert nur darum viele Worte, weil so mancherlei Phänomene daraus zu erklären sind. Alles beruht auf dem einfachen Gesetze der el. Wirkungskreise, welchem gemäfs mit Abänderung der Umstände und Bedingungen die Erscheinungen sich eben so mannigfaltig modificiren müssen. Leicht läfst sich, wie schon oben bemerkt ist, diese Erklärung auch in die Sprache des Franklin'schen Systems übersetzen, wobei statt der doppelten Thätigkeit beider Elektricitäten nur die eine der positiven in Betracht zu ziehen ist, übrigens alle Bestimmungen, die sich auf den Einflufs der Entfernung, der Quantität der E. und des Unterschiedes zwischen Leitern und Nichtleitern beziehen, auf ganz gleiche Weise ihre Anwendung finden. — Treffend bemerkt Gehler[1], dafs man sich nicht leicht werde vorstellen können, wie ein Mangel, den man diesem Systeme gemäfs in dem durch Reiben negativ el. gewordenen Harzkuchen voraussetzen mufs, diejenige Thätigkeit hervorbringen könne, die gleichsam augenscheinlich von dem Harzkuchen ausgeht, von welchem man im Dunkeln beim Reiben selbst das el. Licht in Büscheln ausströmen sieht.

De Lüc hat gleichfalls die Erscheinungen des Elektrophors aus seiner oben in ihren ersten Grundzügen abgehandelten Theorie der E. zu erklären versucht[2]. Er betrachtet dieselben unter der Bedingung, dafs der Elektrophor durch seine Basis mit dem Erdboden in Verbindung sey. Durch das Reiben verliert, ihm zufolge, die obere Fläche des Harzkuchens etwas von ihrem el. Fluidum, der sogenannten el. Materie im engern Sinne, indefs die entgegengesetzte Fläche es gewinnt. Eine geriebene Harzfläche soll dieses el. Fluidum verlieren, weil der reibende Körper sich leichter des durch Reiben in Bewegung gesetzten Fluidums bemächtigt, und weil sogleich der kleine Ueberschufs,

---

1 Wörterb. I. 830.

2 Neue Ideen über die Meteorologie I. 255.

den er empfängt, durch die Hand dessen, der den Versuch anstellt, in den Boden strömt. Durch diesen Verlust an el. Fluidum verliert die geriebene Fläche ihr fortleitendes Fluidum, und die entgegengesetzte Fläche theilt ihr davon sogleich mit. Aber alsdann widersteht das el. Fluidum dieser letztern nicht mehr so stark, und sie erhält daher eine kleine Menge, die sich hier verdichtet, d. h. sie wird positiv. Die Grenze dieser entgegengesetzten Veränderungen findet sich in dem Widerstande der geriebenen Fläche, mehr als eine gewisse Menge fortleitendes Fluidum dem reibenden Körper abzutreten, und ihre Dauer rührt daher, daſs selbst dann, wenn das Reiben aufhört, diese Fläche nur sehr schwer das verlorene Fluidum wieder annimmt. Denn das el. Fluidum, welches sich auf der entgegengesetzten Seite angehäuft hat, theilt mit jener (der obern Seite) sein fortleitendes Fluidum, und verschafft also dem el. Fluidum, das ihr noch übrig ist, eine Vermehrung der ausdehnenden Kraft, welcher Umstand nicht nur dazu beitrug, daſs sie von solchem verlor, sondern auch hinwiederum vermittelt, daſs der leitende Körper welcher in Verbindung mit der andern Fläche (der Basis) ist, ihr nicht das el. Fluidum, was sie erlangt hat, raube. So wird also selbst die Ursache dieser entgegengesetzten Modificationen zweier Oberflächen einer nicht leitenden Platte die Ursache ihrer Dauer, obgleich diese Oberflächen in Verbindung mit leitenden Körpern sind. Man sieht also, warum die nicht leitende Schicht eines Elektrophors so dünn als möglich seyn muſs, und warum selbst, wenn sie eine gewisse Dicke hat, das Reiben ihrer offenen Oberfläche fast keine Wirkung hervorbringt. Denn da die erste kleine Wirkung, die man hervorgebracht hat, sich nicht auf der entgegengesetzten Oberfläche wegen ihres Abstandes verspüren läſst, so folgt keine andere, und sie selbst wird bald durch die Berührung leitender Körper zerstört. Es folgt daraus, daſs je dünner die nicht leitende Schicht ist, wenn sie nur stetig ist (ohne Sprünge, Risse) desto mehr erlangt und erhält der Elektrophor seine Kraft, denn die Folge davon ist, daſs die beiden Oberflächen stärker ihre entgegengesetzten Zustände erlangen und sich wechselseitig in demselben Verhältnisse helfen, sie zu erhalten.

De Lüc entwickelt ferner seine Theorie an dem Apparate einer Ladungsscheibe, deren Belege an isolirenden Füſsen befestigt sind, und von derselben abgezogen werden können, oder

an dem Wilke'schen Apparate einer entladenen Ladungsplatte. Indeſs liegt es auſser den Grenzen dieses Wörterbuches, der Erklärung de Lüc's in dieser Hinsicht im Detail zu folgen, einer Erklärung, die sehr künstlich ausgesponnen ist, und die denselben Einwürfen unterliegt, welche man schon in dem allgemeinen Artikel *„Elektricität"* dagegen aufgestellt findet. Nur möge hier noch die Bemerkung stehen, daſs de Lüc in seiner Theorie die wechselseitige Einwirkung der obern und untern Fläche eines Elektrophors auf einander, und die Unterstützung, die sie sich wechselseitig leisten, zu hoch anschlägt, und mit Unrecht unter die Kategorie der Ladung einer isolirenden Schicht bringt. Unstreitig fällt bei einer solchen die Ladung um so stärker aus, je dünner die Platte ist, die beide Belegungen trennt, wenn sie anders dem Durchbruche der E. von einer Seite zur andern gehörigen Widerstand leisten kann, und eine beträchtliche Dicke derselben wird gleichsam jede Ladung hindern. Beim Elektrophore wird aber unabhängig von der Gegenwirkung der untern Fläche unmittelbar durch das Reiben die E. erzeugt, und hängt hauptsächlich von der Stärke dieses Reibens und dem passendsten Verhältnisse des Reibzeuges zur geriebenen Fläche ab. Es ist im Wesentlichen derselbe Fall wie bei der Erregung der E. einer Elektrisirmaschine durch Reiben, wo sogar die beiden einander entgegengesetzten Flächen des idioelektrisehen Körpers (z. B. der Glasscheibe) auf gleiche Weise gerieben und in ihrem el. Zustande gleichmäſsig modificirt werden, indem sich hier der Gegensatz lediglich auf das Reibzeug bezieht. Auch spricht die Erfahrung unmittelbar gegen einen so auffallenden Einfluſs der Dicke des Harzkuchens auf seine Wirksamkeit als Elektrophor, wie er aus de Lüc's Theorie hervorgeht. Ich habe einen Harzkuchen von der Dicke von einer Linie bis zu der von anderthalb Zollen gieſsen lassen, und keinen sehr merklichen Unterschied in ihrer Wirksamkeit beobachten können, wenn nur ihre Durchmesser dieselben, ihre Oberflächen gleichmäſsig eben waren und derselbe Deckel angewandt wurde. Ein sehr dünner Harzkuchen, der besonders gut im Gusse ausgefallen war, leistete fast dieselbe Wirkung, ob er auf einer Stanniolplatte, die selbst auf dem Tische sich befand, oder auf einem andern dicken Harzkuchen unmittelbar aufruhte. Daſs übrigens die durch das Reiben zu erregende negative E. auf einen höheren Grad getrieben werden kann, wenn ein Theil derselben

bei ihrer Erregung sogleich wieder durch die Gegenwirkung der untern Fläche gebunden und latent wird, und daſs damit die Wirksamkeit des Elektrophors etwas gesteigert werden kann, wenn man dann diesen gebunden gewesenen Theil dadurch wieder in Thätigkeit setzt, daſs man zwischen der Basis und dem Deckel eine leitende Verbindung macht, soll nicht geleugnet werden, und ergiebt sich hinlänglich aus dem früher Gesagten.

Was nun noch die Erklätung der merkwürdigen Thatsachen betrifft, daſs eine Ladungsplatte mit von derselben abtrennbaren Belegen nach vorangegangener Ladung durch die Entladung ohne weiteres einen Elektrophor in voller Wirksamkeit darstellt, und selbst von gröſserer Wirksamkeit, als wenn man die Glasplatte nach Art eines Harzkuchens behandelt, so ergiebt sich dieselbe leicht daraus, daſs bei jeder Ladungsflasche oder Ladungsplatte nach der ersten Entladung stets ein Rückstand von Ladung sich erhält, der sich nur allmälig durch die Belege verliert. Dieser Rückstand von Ladung hängt vorzüglich von einem Antheile von E. ab, der bei zunehmender Ladung gleichsam in das Innere des Glases hineingedrängt worden ist. Da die Belege, insbesondere diejenigen, die von der Glasfläche trennbar sind, kein eigentliches Continuum mit dieser bilden, so ist theils die dünne Luftschicht zwischen beiden, theils auch die ebene Oberfläche mit welcher die Belege und das Glas einander gegenüberstehen, und wohl auch die Adhäsion der E. an die Isolatoren ein hinlängliches Hinderniſs für den Uebergang dieses Rückstandes an die Belege, welcher dann nur durch Vertheilung wirkt. Es versteht sich von selbst, daſs diejenige Seite des Glases, an welcher die positive Ladung statt fand, sich positiv verhalten, und also in dem ihr zugehörigen Belege, welches gleichsam den Deckel eines Elektrophors vorstellt, gerade die entgegengesetzten Erscheinungen, wie der negative Harzkuchen hervorbringen wird, während die abgekehrte negative Seite umgekehrt alle Erscheinungen eines gewöhnlichen Elektrophors zeigen muſs.

Nach den bisherigen Erörterungen wird es ganz überflüssig seyn, mehrere Verhandlungen und Streitigkeiten, das Wesen des Elektrophors betreffend, die in den achtziger Jahren vorzüglich zwischen einigen französischen Physikern statt gefunden haben, näher zu erwähnen. Ich meine insbesondere die Streitigkeiten zwischen Aubert, Professor der Physik zu Autun, und

dem Abbé Empain[1]. Ersterer bekämpfte nämlich vorzüglich die Ingenhoufsische Erklärung der Erscheinungen des Elektrophors nach den Principien des Franklin'schen Systems, und insbesondere die Zurückführung dieser Erscheinungen auf die Theorie der Leidner Flasche, deren Bestimmungen und Verhältnisse Ingenhouss im Elektrophor durchgängig nachzuweisen suchte, dagegen suchte der Abbé Empain diese Theorie gegen Aubert's Einwürfe zu rechtfertigen, und theilte bei dieser Gelegenheit einen Abrifs der Theorie Winkler's mit, die im Wesentlichen mit der Ingenhoufsischen übereinstimmt. Darin hatte allerdings Aubert in gewisser Hinsicht Recht, dafs man den Elektrophor und eine Leidner Flasche in ihrem Verhalten nicht als ganz übereinstimmend betrachten könne. Als wesentliche Verschiedenheit führt er namentlich an, dafs eine durchbohrte oder zersprungene Glastafel nicht geladen, wohl aber als Elektrophor gebraucht werden könne, dafs man ferner ein allzudickes Glas nicht laden, wohl aber durch Reiben mit Metall die Erscheinungen des Elektrophors daran hervorbringen könne. Gehler sucht zwar diese Einwendungen durch die Bemerkung zu beseitigen, dafs es bekannt sey, dafs die Scheiben sowohl durch Löcher und Sprünge, als auch durch allzu grofse Dicke zu Elektrophoren eben sowohl als zur Ladung untauglich werden, indefs bleibt der Unterschied doch immer noch auffallend genug, dafs ein Harzkuchen und auch eine Glasscheibe mehrere durch die ganze Masse hindurchgehende Sprünge haben kann, ohne dafs ihre elektrophorische Wirksamkeit dadurch aufgehoben wird, während selbst auch nur der feinste Sprung, das kleinste Loch, eine Glasscheibe zur Ladung gänzlich unfähig macht, und dafs die Dicke einer Scheibe in einem viel stärkeren Verhältnisse ihre Ladungsfähigkeit vermindert, als die Dicke des Harzkuchens seine Brauchbarkeit zum Elektrophore. Das Wahre in der Sache liegt aber darin, dafs ein Elektrophor eigentlich nur mit einer nach vorhergegangener Ladung entladenen, aber nicht mit einer in wirklicher Ladung begriffenen Ladungsscheibe vergleichbar ist, dafs der bei weitem gröfste Theil der E., welche an den Flächen einer geladenen Scheibe sich befindet, durch Berührung der Belege derselben entzogen werden kann, und also hierbei eine *Mittheilung* statt findet, während

1 Esprit des Journaux. Fevr. 1788 und daraus im Gothaischen Magazin u. s. w. V. Bd. 3s St. S. 96 ff.

die am Elektrophore durch Reiben erregte E. an seiner Fläche haftet, und nur durch *Vertheilung*, nicht durch *Mittheilung* wirkt. Auch NICHOLSON[1] hat meiner Meinung nach bei der Vergleichung des Elektrophors mit der Leidner Flasche und seines Zustandes mit demjenigen der Ladung diesen Gesichtspunct nicht fest genug im Auge behalten. Er bemerkt zwar sehr richtig, dafs, wenn man den Harzkuchen eines nicht isolirten Elektrophors mit metallischer Form reibt, an demselben, wie bei jeder geladenen Flasche[2] eine doppelte E. zu unterscheiden ist, nämlich erstens die *Ladung*, oder die vermittelst der compensirenden Kraft der unisolirten unteren Belegung gebundene, und zweitens die zum Erhalten der Ladung erforderliche Portion einfacher E., welche richtiger die mit freier Spannung begabte genannt werden sollte. Indefs ist diese statt findende Ladung beim Elektrophor nur eine nothwendige Folge aber keine Bedingung seiner Wirksamkeit, da alle Erscheinungen auch eintreten, wenn bei Anwendung eines dicken Harzkuchens, ohne eine metallene Form, der überdies noch auf einem Rahmen von seidenen Fäden in grofser Entfernung von dem Tische aufruht, keine solche Ladung eintreten kann. „Wird" so fährt NICHOLSON fort, „die Metallplatte auf den Harzkuchen gesetzt, und mit dem Finger berührt, so geht wahrscheinlich in den wenigen Stellen der wirklichen Berührung ein Theil der E. in die Metallplatte über, und ist die Intensität stark, so springt auch vielleicht ein anderer Theil derselben durch die dünne Luftschicht hindurch, die zwischen dem Metalle und der Oberfläche des Harzkuchens verbreitet ist." Bei der im Ganzen so gleichförmig bleibenden Wirkung eines einmal geriebenen Elektrophors mehrere Stunden hindurch kann ich indefs einen solchen Uebergang nicht zugeben, weil sonst die E. an der Oberfläche des Kuchens allmälig abnehmen, und also auch die von der Vertheilung abhängigen Wirkungen sich verringern müfsten. Die Wirkungsart der an der Fläche noch zurück bleibenden E. auf den Deckel erklärt NICHOLSON auf dieselbe Weise, wie dieses oben geschehen ist. In der weitern Erläuterung der Phänomene findet NICHOLSON einen wesentlichen Unterschied zwischen dem negativen Funken, welchen man aus dem auf dem Harzkuchen aufruhenden, und dem positiven Funken,

---

1 S. Gilb. Ann. XXIII. 282.

2 S. *Flasche, elektrische.*

welchen man aus dem aufgehobenen Deckel zieht, darin, dafs jener die nach und nach erfolgende Explosion einer Ladung und daher auch viel kleiner, dieser das plötzliche Entweichen eines Antheils einfacher freier E. ist, und daher auch in gröfserer Entfernung überschlägt und auch mehr Geschwindigkeit (?) und Glanz hat, ob er gleich aus weniger E. besteht. Darin hat Nicholson allerdings Recht, dafs in dem Falle, wo das Elektrophor mit seiner Basis auf unvollkommenen Leitern, wie gewöhnlich auf einem Tische, ruht, der negative Funke aus mehreren kleinen Funken besteht, und insofern mit einer allmäligen Explosion einer schwachen Ladung verglichen werden kann, sofern die Ladung des Deckels mit positiver E. oder die Ableitung der negativen nur in dem Mafse geschieht, in welchem die Form ihre vorher gelindere positive E. an den Tisch und durch diesen in den Erdboden abgeben kann, was wegen der unvollkommenen Leitung nur successive geschieht; dafs aber das + weniger betragen sollte, als das abgeleitete —, enthält einen Widerspruch in sich selbst, da ja beide aus demselben 0 hervorgegangen sind, und folglich eben soviel + zurück bleiben mufs, als — abgeleitet worden ist. Uebrigens verdient noch bemerkt zu werden, dafs bei der Verbindung der Form mit dem Deckel durch den Finger der Funken stets nur ein einfacher erschütternder ist, weil in diesem Falle ein guter Leiter beide Elektricitäten zusammenbringt.

Lichtenberg'sche Figuren.

Die merkwürdigen Figuren, durch Aufstreuen von feinen Pulvern, besonders von Harzstaub, hervorgebracht, welche die Spuren der positiven und negativen E. auf eine für jede eigenthümliche Weise auf den Flächen der Nichtleiter, besonders auf glatten, harzigen Oberflächen bezeichnen, werden am passendsten hier abgehandelt, da ihre Entdeckung von dem Elektrophore ausgegangen ist. Lichtenberg in Göttingen, von welchem sie auch ihren Namen erhalten haben, wurde durch einen glücklichen Zufall mit ihnen im Jahre 1777 bekannt[1]. Er bemerkte nämlich, dafs das feine Harzpulver, welches sich beim

1 Vgl. G. Chr. Lichtenberg de nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi. In novi Comment. Soc. reg. Goetting. ad annum 1777, Gött. 1777. T. VIII. p. 168.

Zurechtmachen und Abreiben seines grofsen Elektrophors in die Höhe verbreitet, und an die Wände und Bücher allenthalben angesetzt hatte, und durch die Bewegung der Luft öfters zu seinem grofsen Verdrusse sich wieder auf den Deckel des Elektrophors gleichförmig abgesetzt, nachher als der Deckel in die Höhe gezogen worden, auf dem Harzkuchen selbst sich nicht eben so gleichförmig verbreitet, sondern an gewissen Stellen zu Sternen zusammengehäuft hatte, die zwar erst nur schwach und blafs, durch absichtliches Bepudern aber schöner hervortraten. Bisweilen erschienen fast unzählige Sterne, wie Milchstrafsen, und gröfsere Sonnen, Bogen, welche von der convexen Seite mit Strahlen versehen waren, die niedlichsten Verzweigungen, denen ähnlich, welche die gefrornen Fensterscheiben zeigen, wobei er zugleich beobachtete, dafs sie weit entfernt durch Abwischen mit einer Feder oder einem Hasenfufse vertilgt zu werden, nur gleichsam noch schöner durch neu auffallenden Staub wurden. Es zeigte sich bald, dafs da, wo jene schönen Sterne in Menge sich zeigten, eine positive Ausströmung von dem aufgehobenen Deckel nach dem Elektrophore statt gefunden hatte, welche im Dunkeln in sehr sichtbaren Feuerbüscheln sich zu erkennen gab, und wodurch der Harzkuchen an dieser Stelle positiv el. geworden war, wie auch ein kleinerer Deckel zeigte, der auf diese Stelle aufgesetzt, berührt und wieder aufgehoben sich negativ verhielt. Diese vorläufigen Beobachtungen veranlafsten eine Reihe von Versuchen, um dieser merkwürdigen Eigenschaft der E. weiter nachzuspüren, welche Lichtenberg sowohl in dieser als in einer zweiten Abhandlung[1] genauer beschrieben, und deren Resultate er durch mehrere Abbildungen erläutert hat.

Man bedient sich zu Anstellung dieser Versuche am besten kleiner, dünner, aus Gummilack, Harz oder Schwefel geschmolzener Tafeln, oder auch kleiner Glastafeln, die auf einer oder beiden Flächen mit einer dünnen Harzschicht überzogen sind, oder auch kleiner eben so überzogener Blechtafeln. Auf diese setzt man einen Metallring, der von verschiedenem Durchmesser seyn darf, je nachdem man die Figuren gröfser oder kleiner darstellen will, und der sich in eine Kugel oder Spitze endigen kann. Setzt man ein solches mit einer Kugel versehenes Me-

1 Commentat. poster. etc. in Comment. Soc. reg. Goett. ad ann. 1778. Goett. 1779.

tallrohr auf eine der beschriebenen Tafeln von Harz oder Gummilack und theilt demselben aus einem positiv el. Conductor oder noch besser aus einer positiv geladenen Leidner Flasche einen Funken mit, nimmt dann den Metallring mit der Hand weg, und bepudert die Tafel mit Harzstaub, so wird eine mit den schönsten sich verzweigenden Strahlen umgebene Sonne erscheinen.
Fig. 160. Entfernt man den Metallring statt mit der Hand mit einem idioelektrischen Körper, so fehlt der schwarze Ring, von welchem die Strahlen ausgehen. Giebt man dem Metallringe einen negativen Funken und nimmt ihn gleichfalls mit der Hand weg, so erscheint eine ganz andere strahlenlose, von concentrischen Kreisen eingeschlossene, Figur. (Fig. 161.) Setzt man eine solche Gummilacktafel mit ihrer untern Fläche auf einen kurzen Metallring, ihm gegenüber auf die obere Fläche einen anderen, und giebt letzterem einen positiven Funken, so zeigt sich nach dem Bepudern auf der obern Fläche eine positive, mit Strahlen umgebene, auf der unteren aber eine der negativen verwandte Figur. Stellt man eine Leidner Flasche auf einen Harzkuchen, und ladet ihre innere Seite positiv, so wird ihr Umfang auf dem Harzkuchen mit Harzstaub bepudert einen schönen mit Strahlen eingefaſsten Kreis oder eine positive Figur darstellen; ladet man dagegen die Flasche negativ, so wird der Umfang mehr mit runden Figuren, Kreisen und Ellipsen umgeben seyn. Macht man mit dem Knopfe einer positiv geladenen Flasche, die man in der Hand hält, auf der Fläche eines Harzkuchens Züge wie von Buchstaben, und bepudert dieselben mit Harzstaub, selbst nach einigen Tagen, so werden diese Buchstaben in schönen positiven Figuren sichtbar werden, indem von den gezogenen Strichen seitwärts die niedlichsten Strahlen, die sich in feine Zweige ausbreiten, ausgehen, welche Lichtenberg mit blumenähnlichen Figuren vergleicht. Hat man dieselben Züge mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche gemacht, so werden diese Buchstaben durch Perlen oder Paternosterschnüre bezeichnet. Ueberall charakterisirt sich die negative E. und ist erkennbar an ihren abgerundeten, theils kreis- oder mondförmigen, theils elliptischen Figuren, ohne eine auffallende Seitenausstrahlung, während die positive E. überall in die niedlichsten Verzweigungen, die in feinere und feinere Aeste sich vertheilen, ausstrahlt, und gleichsam Sonnen (nach der gewöhnlichen Art, sie zu zeichnen) und Sterne darstellt. Lichtenberg bemerkt, daſs jedesmal, wenn neue Ver-

suche angestellt werden sollen, die Harzscheiben aufs sorgfältigste abgewischt werden müssen, damit nicht, weil die Figuren sich nur schwer zerstören lassen, beim Gebrauche derselben Tafel *einer* Ursache zugeschrieben werde, was die Wirkung mehrerer ist. Auch müssen die dabei gebrauchten Pulver recht fein seyn, und durch recht feine Leinwand durchgebeutelt werden. Man kann sehr verschiedene Pulver dazu gebrauchen. Lichtenberg bediente sich außer verschiedenen Harzpulvern des Schwefels und Bärlappsaamens, auch der Pulver von Zucker, weißem Vitriol, Braunschweiger Grün, Smirgel, Stärkemehl, gemeinem Mehl, des feinsten Messingfeilicht und Eisenfeilicht, doch giebt das feine Harzpulver stets die schösten Figuren. Stellt man diese Versuche in der Guericke'schen Leere an, so breiten sich die Figuren sehr aus, die Strahlen erhalten eine 3—bis 4mal so große Länge, haben auch eine größere Breite und in der Mitte gleichsam eine feine Rippe, welche frei von Harzstaub ist, während die concentrischen Ringe nur eine einzige breitere kreisförmige Umgebung bilden, welche durch einen schmalen, von Staub freien, Ring von einem mittleren bestäubten kreisförmigen Flecke getrennt ist. Daſs diese Figuren von der Anziehung und Abstoſsung der den Scheiben mitgetheilten und an den bestreuten Stellen haftenden E. gegen die Theilchen der durchgesiebten Pulver abhängen, ist keinem Zweifel unterworfen. Die gleichartig elektrisirten Theilchen der Pulver werden begreiflich von den ihnen gleichartig elektrisirten Stellen des Harzkuchens, abgestoſsen, und von den ungleichartig elektrischen angezogen, und die Gestalt der Figuren wird also theils davon abhängen, nach welchem Gesetze das el. Fluidum auf solchen idioelektrischen Flächen, wie Harzkuchen, Glasplatten u. s. w. seinen Weg nimmt und sich verbreitet, theils auch davon, welche Art von E. die durchgesiebten Pulver selbst annehmen. Lichtenberg hat zwar diesen letztern Umstand als untergeordnet darzustellen gesucht, indem ja auch metallische Pulver, von denen er voraussetzt, daſs sie beim Durchsieben keine E. erhalten, diese Figuren auf gleiche Weise, wenn auch nicht in derselben Schönheit, wie die Harzpulver, darstellen. Indessen wissen wir jetzt sehr wohl, daſs auch Metallpulver so wie alle Körper, beim Reiben an andere el. werden, und da die Metallpulver nach dem Durchsieben bloſs mit der Luft in Berührung gekommen sind, so werden sie die beim Durchgange durch die Lein-

Fig. 162 u. 163.

wand erregte E. beibehalten, ja wenn sie selbst nicht durch Leinwand durchgeschüttelt würden, so könnten sie doch schon beim Durchgange durch die Luft durch Reibung an dieser schwach el. werden. Welchen Einfluſs die durch das Reiben beim Durchgange durch die Leinwand erregte E. der Pulver auf das Gelingen der Versuche habe, beweiset der Versuch de Luc's, daſs bei einer lockern Leinwand, die weniger rieb, ganz unregelmäſsige, hingegen bei einer feinen Leinwand, wo man stark schütteln muſste, sehr schöne und bestimmte Figuren entstanden. Lichtenberg selbst theilt einen interessanten Versuch mit, der den Einfluſs der eigenthümlichen E. der Theilchen des Pulvers auf ihre Auflagerung beweist. Wenn man eine Leidner Flasche auf einen Harzkuchen stellt, der mit einer dünnen Schale eines feinen Harzpulvers, oder eines andern beliebigen Pulvers, das zu diesen Versuchen dienen kann, bedeckt ist, und die Flasche positiv ladet, so wird das aus der äuſseren Belegung ausgetriebene + E. indem es auf den Harzkuchen übergeht, einen Theil des Harzpulvers positiv machen, welcher, da er dann einerlei E. mit dem gleichfalls positiv gewordenen Kuchen hat, nach der negativ el. äuſsern Belegung zurückgetrieben werden wird, die niedlichsten Verzweigungen, ihres Harzpulvers beraubt, auf dem Harzkuchen zurücklassend, wo demnach die leeren Stellen den Weg des + E. durch ihre Strahlenausbreitung bezeichnen, wie sonst die beim Durchstäuben durch Leinwand negativ werdenden Theilchen des Harzstaubes, die sonst von eben diesen Stellen angezogen werden. Bestreuet man hierauf denselben Harzkuchen, auf welchem die Flasche sich befindet, mit Schwefelpulver, das mit Zinnober gefärbt ist, so werden die zuerst von ihren Harzpulvern beraubt gewordenen Verzweigungen das rothe Pigment an sich ziehen, und nicht mehr nach der äuſsern Belegung zurücktreiben. Offenbar liegt der Grund darin, daſs der Zinnober beim Durchstäuben mit Schwefel negativ el. geworden ist, und also von den positiv el. leeren Stellen, die die Flasche umgeben, angezogen wird. Der Mechanicus Bienvenu[1] hat diesen Versuch etwas abgeändert als neu beschrieben. Er beschrieb nämlich mit dem Haken einer Leidner Flasche die erst positiv, und dann negativ geladen wurde, auf dem Kuchen eines Elektrophors nach Willkür Züge,

---

1 Journ. de France 1788. No. 9.

und bepuderte sie dann mit einem Gemenge von Mennige und Schwefelblumen. Die positiven Züge nehmen bloſs die Schwefelblumen an, welche die bekannten Strahlen und Ramificationen bilden, die negativen stellen sich durch die Mennige als rothe Paternosterknöpfchen dar.

Cavallo, der auf den Einfluſs der eigenthümlichen E., welche das Pulver beim Schütteln auf die Platte erhält, zuerst aufmerksam gemacht zu haben scheint [1], hat zugleich auch durch eine Reihe von Versuchen die E. ausgemittelt, welche verschiedene Pulver, je nachdem sie von diesem oder jenem Gefäſse ausgeschüttet werden, annehmen. Harzstaub fand er stets negativ, wenn man ihn von Papier, Glas oder einem metallenen Löffel herabfallen lieſs; Schwefelblumen eben so nur im geringeren Grade; gestoſsenes Glas, von trockenem und warmem Papier herabfallend, negativ doch im geringeren Grade als Harzstaub, von einem metallenen Gefäſse dagegen positiv; Eisenfeilicht aus einer gläsernen Flasche oder von Papier geschüttet negativ; Messingfeilicht bei gleicher Behandlung positiv; Amalgam von Stanniol und Quecksilber negativ; Schieſspulver oder sehr feinen Bimsstein aus einer gläsernen Flasche geschüttet negativ; Quecksilber aus einer gläsernen Flasche positiv; Glanzruſs aus einem Schornsteine oder die Asche von den gemeinen Steinkohlen, vermischt mit kleinen halb verbrannten Kohlen, von einem Stück Papier geschüttet, negativ. Cavallo stellte diesen Einfluſs der eigenthümlichen E. der Pulver auf ihre Anlagerung durch einen Versuch mit einem Gemenge von pulverisirtem Drachenblut und arabischem Gummi dar, womit er eine Glastafel bepuderte, deren Oberfläche er mit dem Knopfe einer mäſsig positiv geladenen Flasche überfahren hatte. Beide Pulver trennen sich in diesem Falle auf der Glastafel; das rothe Pulver des Drachenblutes wird auf gewisse Stellen, und das weiſsliche des arabischen Gummis auf andere fallen, beide zusammen bilden eine längliche strahlige Figur, die aus verschiedenen Farben besteht, welche in der gröſsten Mannigfaltigkeit mit einander abwechseln. Wenn man statt mit Glas, mit vorher durch Erwärmung recht gut ausgetrocknetem Papiere verfährt, und nach dem Bepudern mit dem Gemenge das Papier an das Feuer hält, so schmelzt das Drachenblut und bleibt an dem Pa-

1 Vergl. dessen vollständige Abhandlung u. s. w. 4te Ausg. II. 6.

pier hängen, man kann dann das Pulver des arabischen Gummis mit dem Schnupftuche wegwischen, und hat nun die durch das Drachenblut gebildete Figur auf dem Papiere rein und fixirt. Um diese Figuren zu fixiren, kann man auch nach Lichtenberg's Vorgange ein mit einer klebrigen Materie überstrichenes schwarzes Papier an die Figuren gelinde andrücken, und dann abziehen, wo dann der Harzstaub in seiner eigenthümlichen Anordnung an dem Papiere hängen bleiben wird. Nach Bennet ist es sogar hinreichend, das Papier, womit man solche Abdrücke von Figuren sich verschaffen will, nur gehörig im Wasser einzuweichen, zwischen den Blättern eines Buchs die überflüssige Feuchtigkeit auszudrücken, und auf die glatte Scheibe von Harz, auf welcher sich die Figur befindet, gelinde anzudrücken, wo dann der Harzstaub an dem Papiere hängen bleiben wird. Da in diesem Falle der nach aufsen befindliche Harzstaub nur lose anhängt, so kann man das Papier dann noch mit der bedeckten Seite auf ein Gefäfs mit Wasser legen, wo das überflüssige Pulver in dem Gefäfse mit Wasser zu Boden sinken wird, und die Figuren sich nachher auf dem Papiere nicht so leicht verwischen lassen.

Diese Figuren zogen ganz besonders de Lüc's Aufmerksamkeit auf sich, der in ihnen eine Bestätigung seiner el. Theorie und der eigenthümlichen Rolle, welche diese Theorie den beiden Elementen des el. Fluidums, dem fortleitenden Fluidum und der el. Materie anweiset, zu erkennen glaubte[1]. Er bediente sich zu seinen Versuchen darüber sehr dünner Glasplatten, mit schwarzem Siegellack überzogen, das er darauf siebte und schmelzte. Einige waren mit dem Lack auf beiden Seiten, andere nur auf einer, bedeckt; auf einigen liefs er zwischen dem Lack leere Stellen, um auch mit dem Glase selbst Versuche zu machen. Man kann solche Platten sehr lange gebrauchen, und darf nur das Siegellack am Feuer erweichen, um die vorigen Figuren ganz wegzubringen. Diese Platten liefs er auf zwei überfirnifsten Glasarmen ruhen, die auf einem isolirenden Fufse standen. Daran befindet sich ein gläserner Arm, an dessen Ende man einen Leiter, z. B. eine metallene Kugel, Platte, Röhre u. dergl. anbringen, und über jede Stelle der Glasscheibe schie-

1 Seine zahlreichen Reihe von Versuchen beschreibt derselbe in seinen neuen Ideen über die Meteorologie. I. S. 890. u. ff.

ben kann. Ein anderer isolirender Fuſs trägt am Ende eines andern gläsernen Armes einen ähnlichen Leiter, den man von unten an jede Stelle der untern Seite der Scheibe bringen kann, so daſs beide Leiter einander gegenüber stehen. Ein dritter metallner oder sonst leitender Fuſs trägt einen beweglichen Arm, wodurch der Leiter an der untern Seite mit dem Boden verbunden werden kann. Die Leiter können mancherlei Gestalten haben, nur müssen sie wenigstens $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch seyn, damit der Knopf der Flasche, womit man sie elektrisirt, der Platte nicht zu nahe komme. Mit ihrer Basis müssen sie auf der Platte ruhen. Die schönsten Figuren erhält man durch positives Elektrisiren, wenn der Leiter eine Röhre von 1 Zoll Durchmesser zur Basis hat.

Mit diesen Platten hat de Lüc die Versuche auf mancherlei Art abgeändert, z. B. dem obern Leiter einen Funken gegeben, und ihn hernach entweder mit der Hand weggenommen, oder durch den isolirenden Arm weggeschoben; oder vor dem Wegnehmen erst die Verbindung des untern Leiters mit dem Boden aufgehoben; oder diese Verbindung schon vor dem Funkengeben aufgehoben; oder den untern Leiter ganz weggelassen. Jede Abänderung im Verfahren giebt den Figuren ein anderes charakteristisches Kennzeichen, und wenn man dabei Leiter von fünferlei verschiedenen Gestalten gebraucht, so erhält man 80 Varietäten von Figuren, wobei sich das Zufällige besser unterscheiden läſst, wenn man gröſsere Platten, etwa von 6 Zoll ins Gevierte, wählt, und jede Operation an verschiedenen Stellen wiederholt. Man kann noch zwei Abänderungen durch das Bepudern machen, indem man gleich nach dem Funkengeben, noch vor Wegnehmung des Leiters, oder indem man noch vor dem Funkengaben bepudert. De Lüc ist noch bei weitem nicht in alle Einzelnheiten dieser Fälle eingedrungen; nur der allgemeine Gang ist es, was er durch anhaltende Bemühungen zu fassen vermocht hat.

Die beiden Seiten der Platte sind hier einander so nahe, daſs sie stets beide gemeinschaftlich auf den Staub wirken; daher seine Lage durch beide bestimmt wird. Er setzt sich also am häufigsten nicht eben auf die Theile, welche das meiste + E. besitzen, sondern auf die, wo die Anhäufung am wenigsten durch das — E. der entgegengesetzten Seite gehindert wird. Die Stellen, welche der Leiter wirklich berührt, und die dem beleg-

ten Theile der Kleist'schen Platte ähnlich sind, nehmen hier nur einen kleinen Raum ein, in dem sich wenig unterscheiden läſst: doch bemerkte DE LÜC darin kleine Sterne bei + E., kleine Flecken, wie Perlen, bei — E. Eben dieses fand er auch an den belegten Theilen einer geladenen Platte von schwarzem Lack, aber um die Belegungen herum hatten sich Figuren gebildet, die denen auf den Glasplatten ähnlich waren, und denselben Gesezzen folgten.

Der erste allgemeine Charakter bei diesen Figuren besteht in *negativen Streifen*, welche mit positiven eingefaſst sind, und den Umrissen der Stelle folgen, welche der leitende Körper auf der Platte eingenommen hat. Wenn man bloſs den Knopf einer Flasche gegen die Platte hält, und sie, nachdem er zurückgezogen ist, bepudert, so hat man einen schwärzlichen, folglich negativen, Fleck, der mit einem positiven Gewölk umfaſst ist. Setzt man aber die beiden Leiter auf die Platte, und nähert dem obern den Knopf, ohne jedoch einen Funken zu geben, so findet man den schwarzen Grund schon durchschnitten.

Hiervon läſst sich nun nach DE LÜC's Systeme folgende Erklärung geben. Bei Annäherung des Knopfes an den Leiter erhält das el. Fluidum des letzteren mehr ausdehnende Kraft, verbreitet sich in Strahlen über die Platte, und bildet eine kleine positive Einfassung um des Leiters Basis. Dadurch vermehrt es den negativen Zustand der Platte um sich her, und bildet eine erste Zone, die mehr negativ als der Grund ist; um diese herum häuft sich wieder ein Theil der el. Materie an, die auf der Platte fortgeschlüpft ist, und bildet eine zweite positive Einfassung u. s. w. Auf der andern Seite der Platte bilden sich ähnliche Einfassungen in umgekehrter Ordnung. In dem Maſse, wie sich der Knopf mehr nähert, entstehen neue Durchschnitte auf dem ersten negativen Grunde; der darauf ausfahrende Funken veranlaſst wiederum neue Schnitte, und endlich bringen auch die verschiedenen Arten, die Leiter wegzunehmen, eine neue Ordnung von Schnitten mit ausgezeichneten Charaktern hervor.

Die *negativen* Figuren rühren meistens nur von dem Fortrücken der eigenen el. Materie der Platte her, welches in concentrischen Zonen geschieht; die *positiven* hingegen tragen das Gepräge von neuem auf die Platte gekommenen Fluidum an sich, und stellen ausschieſsende Strahlen dar, welche diesen Figuren ihre so vorzügliche Schönheit geben.

Aus dem Leiter fahren auch Strahlen in einiger Höhe, die die Platte erst in der Entfernung erreichen. Wo diese die Einfassung streifen, ohne sie zu berühren, da machen sie auf derselben schwarze Striche, weil ihr fortleitendes Fluidum die unter ihnen befindliche el. Materie verrückt; wo sie aber die Einfassung berühren, da machen sie dieselben dichter. Jenseit der Einfassung geschieht der stärkste Niederfall dieser Strahlen, und sie zertheilen sich hier auf die schönste Weise in Gruppen und Aeste. Alle weiſse Züge sind mit Schwarz eingefaſst, und alle schwarze Züge mit schwachem Weiſs; dieses zeigt, daſs die elektrische Materie auf dem ursprünglich negativen Grunde aufs neue verrückt worden sey. Der Regen auf die obere Seite verursacht nun auch eine neue Vertheilung auf der untern, woraus schwarze Felder entstehen, mit weiſsem Gewölk eingefaſst, welches von der positiven Einwirkung der obern Strahlenmassen durch die Platte hindurch herrührt. Sind die Leiter kreisförmige oder parallelseitige Platten, so werden die Strahlen, welche aus einer Seite in die andere gehen, auf ihrem Wege gekrümmt, zertheilt und an ihren Enden verdickt, woraus blättrige Ramificationen entstehen.

Wenn man nach den Funken den obern Leiter mit dem Glasarme wegschiebt, so werden die Figuren fast gar nicht verändert; berührt man aber den Leiter, ehe man ihn wegnimmt, so entstehen auf ½ Zoll weit von beiden Leitern besondere Veränderungen. Man entladet dadurch, wenn der untere Leiter mit dem Boden in Verbindung ist, die Theile der Platte, welche die Leiter berühren. Oben geht das el. Fluidum aus diesem Theile der Platte in den berührten Leiter: unten geht es aus dem Boden in den andern Leiter. Dadurch bilden sich zwei verschiedene Gattungen von figurirten Borten in der Mitte zwischen den Figuren um die Stellen der Leiter. Es ist dieses ein weiſses Laubwerk auf schwarzem, oder auch ein schwarzes auf weiſsem Grunde, und was noch sonderbarer ist, oft haben verschiedene Theile derselben Zone beide Charaktere.

Eben diese Figuren findet man auch bei der Kleist'schen Platte, und zwar um die Belegungen herum, sowohl auf der positiven als negativen Seite; und wenn man die Belegungen abnimmt, so zeigen sich auch die Durchschnitte nach eben denselben Gesetzen. Freiwillige Entladungen lassen weiſse Strahlen zurück, die so gerade und enge, als die Zähne des feinsten Kam-

mes, zu beiden Seiten des Weges, den der Funken nahm, unter rechten Winkeln ausfahren, und ein grofses negatives Feld, das durch den Wirkungskreis des Stromes entstanden ist, durchschneiden.

Hierdurch sucht DE LUC einige Hauptsätze seiner Theorie sichtbar zu beweisen. Dafs die Nichtleiter die el. Materie stark an sich halten: denn eben daher entstehen die Figuren und ihre Dauer; dafs diese Materie nur in der Nähe von den Nichtleitern angezogen wird; denn der Strom von el. Fluidum kann sehr nahe an der Platte vorbeigehen, und Unterbrechungen auf ihr machen, ohne ihr anzuhängen; dafs sich das *Fluidum deferens* gegen die Nichtleiter, wie gegen jede andere Substanz hinneige, und hier auch die el. Materie verdränge, dieses beweisen die positiven Einfassungen der negativen Theile, und alle Umstände der Bildung der Figuren; dafs die el. Bewegungen sich nur auf die el. Materie allein, nicht auf das fortleitende Fluidum, beziehen, denn der negativ gewordene Harzstaub hängt sich nur an die Stellen, wo el. Materie angehäuft ist; dafs endlich das el. Fluidum, sobald es frei ist, sich in gerader Linie bewegt, dieses beweisen die Strahlen der positiven Figuren.

Glas hält die el. Materie nicht so stark, als Siegellack. Wurden die Platten gleich nach der Operation bepudert, so waren die Figuren des Glases und Lackes wenig verschieden, säumte man aber mit dem Bepudern, so wurden sie auf dem Glase unordentlich und verworren.

Das el. Fluidum setzt sich an nicht leitende Flächen stofsweise, wie die Luft in eine umgekehrte Flasche mit Wasser dringt, und verläfst sie auch wieder auf eben die Weise. Setzt man eine nichtleitende Platte auf eine mit dem Boden verbundene leitende Fläche, streicht frei mit dem Knopfe einer geladenen Flasche darüber, und bepudert sie hernach, so sieht man statt eines simpeln Zuges eine Figur, wie einen jungen Zweig vom Lerchenbaume, eine Reihe regelmäfsiger Büsche, die vom Zuge ausgehen. Ist die Flasche negativ geladen, so sieht man eine Art von Paternoster mit weit aus einander stehenden Körnern. Je schneller man den Knopf bewegt hat, desto weiter stehen die Büsche und Körner von einander. Dieses von LICHTENBERG zuerst bemerkte Phänomen bezeichnet Absätze in dem Uebergange des Fluidums. Die Ladung mufs allemal zu einem gewissen Grade kommen, um an die Platte überzugehen, so

wie in der umgekehrten Wasserflasche die Verdünnung der Luft allemal zu einem gewissen Grade kommen muſs, ehe wieder eine Blase äuſserer Luft durch das ausflieſsende Wasser dringen kann. Diese Absätze sind auch die Ursache, welcher man das heftige Oscilliren der Elektrometer bei der Ladung von Flaschen oder Platten zuzuschreiben hat.

Auſser de Lüc haben sich ferner noch die holländischen Physiker Paets van Troostwyck und Krayenhoff[1] mit diesen Versuchen beschäftigt, und in den Erscheinungen derselben einen entscheidenden Beweis für das Franklin'sche System zu finden vermeint. Sie bedienten sich runder Scheiben aus gleichen Theilen von Harz und schwarzem Siegellack, von 4—5 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{8}$ Zoll Dicke, und bepuderten dieselben mit Bärlappsaamen. Zum Elektrisiren nahmen sie eine Leidner Flasche von 44 Quadratzoll Belegung, deren Knopf $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser hatte, bisweilen auch eine kleinere Kugel, und zu einigen Versuchen an deren Statt eine Spitze.

Wenn sie die Lackscheibe am Rande mit den Fingern berührten, mit der Mitte derselben, die auf diese Art isolirt war, den Knopf einer positiv geladenen Flasche berührten, und dann die Scheibe bepuderten, so bildete der Staub einen Stern mit Strahlen, die von dem Puncte, der die Flasche berührt hatte, ausgingen. War die Flasche negativ geladen, so bildeten sich ein, zwei oder mehrere runde Flecken. Die andere Seite der Lackscheibe zeigte bepudert keine Figur. Verbanden sie aber während des Berührens der Flasche die andere Seite der Scheibe mit einem Leiter, den sie nach dem Berühren wegnahmen, und dann beide Seiten bepuderten, so entstand auf der Seite, welche die Flasche berührt hatte, ein Stern, dessen Strahlen aber nicht aus einem Puncte, sondern aus einem gefällten Kreise ausgingen, und an der andern Seite einige runde Flecken, deren mittelster mit jenem Kreise von gleicher Gröſse war. Bei der negativen Flasche waren die Flecken auf der berührten, der Stern auf der andern Seite, mit kürzeren, dünneren, und sich durchkreuzenden Strahlen. Brachten sie an der Flasche statt des Knopfes ein rundes Metallplättchen an, und an der andern

1 Verhandeling over zeekere onderscheidene Figuren, welken dor de beede Soorten van Electriciteit vorden voordgebracht im Allgem. Magazin und übersetzt in den Leipz. Samml. zur Physik und Naturges. IV. Bd. 4tes St. 1790. S. 357.

Seite der Scheibe ein gleich grofses mit Leitern verbundenes Metallplättchen, und verfuhren dann wie zuvor, so fanden sie einen gefüllten Kreis mit divergirenden Strahlen, und auf der andern Seite einen gleich grofsen mit runden Flecken gefüllt, auch nicht selten um denselben einen Ring, auf der sich kein Staub ansetzte. Bei negativ geladener Flasche verwechselten sich die Figuren, und die Strahlen waren kürzer und gekrümmter. Lagen die Metallplättchen an der Scheibe nicht ganz an, so entstanden in dem gefüllten Kreise auf der positiven Seite kleine Sterne, auf der negativen kleine Flecken, wie Perlen. Alle diese Figuren liefsen sich auch durch Berührung mit einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange, oder einer isolirten Person, die Glas oder Siegellack gerieben hatte, hervorbringen, oder wenn man den Knopf einer nicht zu stark geladenen Flasche auf der Scheibe, als ob man schreiben wollte, herumführte, in welchem Falle, wie auch schon oben bemerkt ist, ein positiver Knopf Züge mit ausfahrenden Strahlen, ein negativer Reihen von perlenartigen Flecken bildete.

Dieses erklären die genannten Physiker nach Franklin's Systeme. Auf die Frage, warum der negative Knopf mehr als einen Fleck bilde, antworten sie, dieses rühre von der Gröfse der berührenden Oberfläche her; brauche man eine Spitze, so entstehe nur ein Punct, dagegen sey bei der positiven Flasche gar kein Unterschied zwischen den Wirkungen der Kugel und der Spitze zu finden. Ein Versuch scheint denselben besonders günstig für die Einheit der el. Materie und für ihre entgegengesetzte Richtung beim Negativelektrisiren zu seyn. Man hänge eine Leidner Flasche an den Conductor der Maschine, und verbinde ihre äufsere Belegung durch einen Draht mit der auf Leitern liegender Lackscheibe, so kann die Flasche in etwas geladen werden, weil die Scheibe aus den Leitern etwas E. annehmen, oder an sie abgeben kann. Nimmt man nun nach dem Laden den Draht mit einem isolirenden Handgriffe ab, und bepudert die Scheibe, so sieht man bei positiver Ladung Strahlen, bei negativer nur einen einzigen runden Fleck. Dieser und die schwächere (?) Ladung, die die Flasche in diesem Falle erhält, lassen sich der Meinung jener Physiker zufolge sehr gut im Sinne des Franklin'schen System's dadurch erklären, dafs der Lackscheibe weit mehr el. Materie gegeben als genommen werden kann, weil die Theilchen wohl genöthigt werden können, sich

aus einem Puncte über die widerstehende Fläche der Scheibe zu verbreiten, nicht aber umgekehrt, sich von allen Theilen der Scheibe her nach einem Puncte zu versammeln.

Dagegen hat LARS EKMARK[1] in einer abgeänderten Art die Lichtenberg'schen Figuren darzustellen, vielmehr einen Beweis *gegen* FRANKLIN's Theorie und *für* den Dualismus aufzustellen gesucht.

1. Eine auf einer Seite belegte Glastafel wurde auf der unbelegten Seite mit Schwefelblumen bestreuet, eine positiv geladene Flasche von ¼ Quadratfuſs Belegung vorsichtig darauf gestellt, und darauf der Knopf der Flasche mit einem Leiter berührt. Das Pulver auf der Glastafel setzte sich von der Flasche aus in Bewegung, und legte sich rund um in Gestalt von Lappen oder Wellen mit gleichen Kanten an, die um so stärker, deutlicher und weiter ausfahrend waren, je stärker die Flasche geladen war.

2. Derselbe Versuch wurde mit einer negativ geladenen Flasche wiederholt. Nun setzte sich das Pulver gleichfalls von der äuſsern Seite der Flasche in Bewegung, und legte sich in Figuren, welche an Weite und Gestalt ungefähr den vorigen Wellen gleich kamen, statt der gleichen Kanten zeigten sich aber ausschieſsende Strahlen oder Zweige.

3. Die Glasscheibe war wie zuvor eingerichtet, die aufgesetzte Flasche positiv geladen, und der Knopf derselben wurde mit einem isolirten Auslader berührt, dessen anderer Knopf so weit auf der Tafel von der Flasche gelegt war, daſs die Entladung nicht erfolgen konnte. Das Pulver legte sich jetzt um die Flasche in Wellen, und um den Knopf des Ausladers in Strahlen, welche stark gegen einander schossen, sich aber doch nicht berührten. Die Figuren erlitten hierbei je nachdem die Flasche stärker oder schwächer geladen war, einige Veränderungen. Bediente man sich eines nicht isolirten Ausladers, so geschah das Nämliche, doch schienen die Figuren um den Knopf des Ausladers schwächer und kürzer zu seyn. Hatte der Auslader eine Spitze, und erfolgte die Entladung langsam, so gingen doch die Wellen von der Flasche aus.

---

1 Kongel. Vetensk Acad. Nya Handlingar. Stockholm 1800. 2tes Quartal und daraus bei G. XXXIII. 481.

4. Der Versuch mit einer negativ geladenen Flasche wiederholt, gab dieselben Resultate auf die entgegengesetzte Weise.

5. Wurde der Versuch 3 durch hinlängliche Annäherung des Knopfes des Ausladers an die Flasche, so daſs die Entladung erfolgte, wiederholt, so waren die Wellen von der Flasche und die Strahlen von dem Entlader gegen einander gestoſsen, hatten sich berührt, und der Strahl hatte durch Auseinanderschlagen der Schwefelblumen einen Weg im Zickzack gebildet, der so lange er durch die Wellen lief, schmäler als in den Strahlen war, wo seine Breite 1¼ bis 2 Z. betrug. In der Mitte blieb ein sehr schmaler, blaſs grauer Rand, vermuthlich von den geschmolzenen Schwefelblumen, welcher in dem Vereinigungspuncte der Wellen und Strahlen abgebrochen, oder in einer Menge feiner Striche getheilt war.

6. Mit einer negativ geladenen Flasche erfolgte das Nämliche, aber umgekehrt.

7. Am schönsten fällt der Versuch aus[1], wenn zwei gleich groſse geladene el. Flaschen, wovon das äuſsere Beleg der einen positiv, der andern aber negativ geladen ist, 3 bis 4 Zoll von einander auf jene unten mit Stanniol belegte Glasscheibe gestellt werden, so daſs, wenn ihre inneren Belege mittelst eines isolirten Ausladers in Verbindung gebracht werden, ein Funken zwischen den äuſsern Belegen überspringt, der sie entladet. Nach der Entladung findet man rings um die Flasche herum in den Schwefelblumen die Figuren derjenigen E., welche der äuſsern Belegung einer jeden Flasche angehört hat, auf der Stelle aber, wo der Funken übergesprungen ist, sind alle Schwefelblumen weggefegt, und der Weg ist völlig rein. Dieser Weg ist übrigens von der positiven Belegung aus mit positiven, von der entgegengesetzten Belegung aus mit negativen Figuren eingefaſst, die aber nicht weit von dem Puncte, wo sie einander begegnen, aufhören, und hier findet sich oft, wenn der Schlag hinlänglich stark gewesen ist, ein groſser runder Flecken, wo alle Schwefelblumen weggefegt sind, der von keinen Figuren eingeschlossen ist, und wo die groſsen Massen der E. sich zu 0 vereinigt haben. Wenn man zu diesem Versuche Flaschen von verschiedener Gröſse anwendet, jedoch dieselben durch gleich viele Umdrehungen der Elektrisirmaschine mit einer ziemlich gleichen

1 Berzelius Lehrbuch der Chemie von Blöde I. Bd. S. 94.

Menge E. ladet, so findet man den Ausgleichungspunct allemal näher bei der gröfseren Flasche, deren Ladung die geringere Intensität besitzt, ihre äufsere Belegung mag sich nun im positiven oder negativen Zustande befinden.

Ich habe alle diese Versuche bei ihrer Wiederholung vollkommen genau gefunden, nur zeigten sich mir die Figuren schöner und regelmäfsiger bei Anwendung des Bärlappsaamens, mit welchem sich in dem letzten Versuche der Kranz von Strahlen um das positive, und die Einfassung von runden Figuren, wie von Perlen um das negative Beleg besonders gut ausnahmen. Aus diesen Versuchen, glaubt Ekmark, folge unwidersprechlich, dafs die Schwefelblumen sowohl von der positiven als von der negativen Seite einer geladenen Flasche aus in Bewegung gesetzt werden, welches sich nicht wohl anders als durch ein Ausströmen einer Materie sowohl aus der positiven, als auch aus der negativen Seite erklären lasse, und also einen Beweis für den Dualismus liefere. Auch scheint aus den Versuchen zu erhellen, dafs die negative E. sich nicht träger als die positive verhalte, da in verschiedenen Abänderungen der Versuche bei der Unterbrechung des Entladens das Zusammentreffen genau in der Mitte der Unterbrechung geschah, wenn beide Elektricitäten an beiden Seiten gleichen Widerstand fanden.

Aldini in Bologna[1] stellte gleichfalls Versuche über die Lichtenberg'schen Figuren mit verschiedenen Pulvergemengen an, welche auf Harzkuchen gestreuet wurden, denen durch den Knopf einer Flasche positive oder negative E. an verschiedenen Stellen, oder auch nur eine E. mitgetheilt worden war. Die Figuren, welche diese Pulver bildeten, und die Scheidung derselben von einander durch die Anziehung von denjenigen Stellen des Harzkuchens, welche eine der ihrigen entgegengesetzte E. besafsen, zeigten an, welches von beiden Pulvern negativ und welches positiv durch durch das Reiben an einander geworden war. Diese Versuche wurden in einem noch gröfseren Umfange durch v. Arnim[2] ausgeführt, und dadurch der elektrische Werth der verschiedenen Materien bei ihrer mechanischen Wirkung auf einander bestimmt, wovon indefs schon unter dem Artikel *Elektricität* die Rede gewesen ist.

---

1 Annali di Chimica cet. di Brugnatelli. T. XIII. p. 137.

2 G. V. 34.

Die Vergleichung der beiden Lichtenberg'schen Fundamentalfiguren scheint mir allein schon überzeugend genug für eine eigene Thätigkeit der negativen E. zu sprechen, wobei, um die mehreren concentrischen Kreise richtig zu würdigen, nicht zu übersehen ist, dafs auf allen Nichtleitern die an einer Stelle wirkende freie E. auf eine weite Strecke hin abwechselnde Zonen von entgegengesetzten Elektricitäten durch Vertheilung hervorbringt, die mit der Entfernung schwächer und schwächer werden. Dafs auch ohne künstliche Vorrichtungen durch die E. ähnliche Figuren hervorgebracht werden, davon habe ich schon unter dem Artikel *Blitz*[1] ein merkwürdiges Beispiel beigebracht. Es mag hier noch eine zweite interessante Beobachtung folgen, welche vom Geheimenrathe Mayer[2] herrührt. Am 25. Jun. 1785 schlug der Blitz in die Grenadier-Wachtstube am Gubner Thore zu Frankfurt an der Oder, beschädigte mehrere Personen und bezeichnete bei dreien derselben verschiedene Stellen ihres Körpers mit Streifen und Sternen von unterlaufenem Blute, welche mit den el. Figuren auf dem Elektrophore die auffallendste Aehnlichkeit hatten. Bei dem einen ging an der Stelle des Rückens, an der ihn der Blitz getroffen hatte, ein starker rother, mit strahligen Ausflüssen bezeichneter, Streif nach der Länge des Rückgrates gerade herab, und krümmte sich unten seitwärts. Aus diesem entstanden mehrere schwächere Seitenstreifen, deren stärkster an der rechten Seite hinablief, und sich an drei Stellen in noch feineren strahligen Aesten endigte. Ein ähnlicher Streifen lief an der rechten Wade bis zur Ferse hinab, und auf der linken Wade hatte sich ein einzelner, strahliger Stern gebildet. Ein anderer, ebenfalls von diesem Blitze getroffener, Soldat hatte am linken Oberschenkel eine *sonnenartige* Figur, und am linken Unterschenkel einen zackigen, strahligen Streifen, ein dritter hatte ähnliche Streifen an den Lenden, dem Unterschenkel und beiden Füfsen[3].

Mayer leitet die Entstehung derselben von der negativen E. des Körpers und besonders des Bluts der Getroffenen her, welche den positiven Blitz auf die am meisten negativen Stellen

1 I. Bd. 2te Abth. S. 1017.

2 Thedens neue Bemerkungen und Erfahrungen zur Wundarzneikunst und Arzneigel. III. Th. Berlin 1795. 8. S. 66. u. f.

3 Man findet diese Figuren a. a. O. abgebildet.

vorzüglich hingeleitet habe, die Stern- und Sonnenförmigen Figuren erklärt er sich aus metallenen Knöpfen oder Geldstücken, welche an den getroffenen Stellen des Körpers müfsten angelegen haben.

Schwingungsbewegungen durch den Elektrophor vermittelt. Pendelversuche.

Der Dr. Schäffer Königl. Dänischer Rath und Professor und Consenior des Ministeriums in Regensburg, welcher[1] vorzüglich dazu beigetragen hat, dafs der Volta'sche Elektrophor sehr bald in Deutschland bekannt wurde, glaubte gleich bei seinen ersten Versuchen mit demselben, die das el. Glockenspiel betrafen, eine höchst merkwürdige Art von Bewegungen entdeckt zu haben, in welche der Elektrophor unter Mitwirkung einer eigenthümlichen, nur gewissen Menschen zukommenden, Kraft hängende Körper versetze. Die nächste Veranlassung zu diesen Versuchen gab die Wiederholung des bereits von Jacquet angestellten Versuchs, dafs wenn man den Elektrophor auf eine isolirende Unterlage setzt, durch Reiben isolirt, den Deckel und die Form zugleich berührt, und den Deckel an den seidenen Schnüren aufhebt, und auf eine andere isolirende Unterlage (wozu Schäffer gewöhnlich seidene Schnüre gebrauchte, die durch einen Ring angespannt waren) setzt, eine Korkkugel zwischen der Form und dem Deckel pendelartig sich hin und her bewegt, wovon die Ursache aus den oben gegebenen Erklärungen von selbst einleuchtet. Dieses brachte ihn auf den Gedanken, durch den Elektricitätsträger ein ähnliches Läuten kleiner Glocken zu Wege zu bringen, wie es durch die gewöhnliche E. bewirkt werden kann. Er brachte daher eine Glocke, die an einem blauseidenen Faden zwischen dem Daumen und Zeigefinger hing, zwischen zwei andere ebenfalls durch seidene Fäden an angemessenen Gestellen herabhängende Glocken, und wirklich bewegte sich die mittlere Glocke wechselsweise gegen die Nebenglocken, diese Bewegung wurde nach und nach immer stärker, und die Mittelglocke erreichte endlich die Nebenglocken, und bewirkte das el. Geläute. Ein anderes Mal

1 Versuche mit dem beständigen Elektricitätsträger. Vier Abhandlungen mit 7 Kupfertafeln. Regensburg 1780. 4.

hielt Dr. Schäffer zufällig eine an einem blauseidenen Faden hängende Glocke zwischen seinen Fingern mitten über einen geriebenen Elektrophor, und sie kam in Schwingungen, die *genau in der Mittagsebene*, nie nach andern Richtungen erfolgten. Er hing darauf die Glocke an einem hölzernen Stativ auf, und nun blieb sie über dem Elektrophore in völliger Ruhe, sobald er aber seine Finger auf den seidenen Faden legte, kam sie wieder in derselben Richtung zum Schwingen, und dazu war es, wie er später fand, schon hinlänglich, dafs die Glocke, indem er ihren Faden berührte, über irgend einem Puncte des Elektrophors hing. Befand sie sich dagegen dem geriebenen Elektrophore zur Seite, und berührte er ihren Faden, so geschah die Schwungbewegung in einer Ebene, die durch den Mittelpunct des Elektrophors ging, und dieses war selbst dann der Fall, wenn der Elektrophor 24 Schritte weit von der Glocke entfernt wurde, sogar wenn eine Mauer oder der Fufsboden beide trennte, war der Elektrophor nur nicht isolirt, oder wurde er in diesem Falle durch eine Elektrisirmaschine verstärkt. Ohne Elektrophor war das Auflegen der Finger auf den Faden ohne Wirkung. Statt der Glocke konnten auch andere Körper, und statt des blauseidenen Fadens andere Fäden, Schnüre oder Ketten mit demselben Erfolge gebraucht werden. Dr. Schäffer hatte nicht einmal nöthig, den Faden zu berühren, woran der Körper hing, es war hinlänglich, *wenn er seine Hand an einen Theil des hölzernen Stativs legte*, an welchem der Faden befestigt war. So fingen drei Glocken, welche von einem Stative herabhingen, an zu schwingen, ohngeachtet seine Hand von den Seitenglocken 3 Fufs, und von der mittleren und dem Elektrophore 2 Fufs entfernt war, die mittlere schwang in der Mittagslinie, die beiden zur Seite in einer Ebene senkrecht auf diese [1]. Kann aber wohl, fragt er, eine unmerkliche Bewegung der Finger oder der Hand als Grund der regelmäfsigen Bewegung der Glocken angesehen werden, wenn sie nach diesen Versuchen von ihm Schuhe weit entfernt sind? Diese gänzliche Unabhängigkeit von einer unbewufsten, gleichsam unwillkürlichen, Bewegung der Hand, die etwa den Glocken mitgetheilt werden könnte, scheint auch noch auf eine überzeugende Art der Versuch mit einem Stativ mit doppeltem Arme zu beweisen, an deren jedem ein

1 a. a. O. S. 50. 51.

Glocke oder andere ähnliche Körper herabhingen. Wurden nämlich zwei Elektrophore genommen, und der eine im Süden oder Osten, der andere im Norden oder Westen gestellt, und die Hand auf den doppelten Arm gelegt, so bewegte sich die eine Glocke nach dem Elektrophore im Süden oder Osten, und die andere nach dem andern im Norden oder Westen regelmäfsig.

„Bei dem letzten Versuche, sagt Schäffer, ist es eine gänzliche Unmöglichkeit, durch eine Bewegung der Hand und Finger zwei entfernten Körpern eine doppelte entgegengesetzte Bewegung und Richtung zu geben, und sie kann also ohne offenbaren Widerspruch ihren Grund in nichts Anderem, als in der verschiedenen Stellung der Elektricitätsträger und der Wirkung auf die beweglichen Körper haben."

Uebrigens erhellet die Einrichtung dieser beiden zuletzt angeführten Gestelle und die Unmöglichkeit, die Kugeln oder Glokken in jene so bestimmte Bewegungen durch eine Mittheilung von der Hand aus zu versetzen, deutlich aus den Zeichnungen. Fig. 164. u. 165.

Aber nicht alle Personen waren zu diesen Versuchen geschickt, die dem Dr. Schäffer fast immer gelangen, so wie auch jedem auf den er seine Hand legte. In den drei Wochen, in denen er sich täglich und ganze Stunden hindurch mit diesen Versuchen beschäftigte, wollte ihm nur an *einem* Nachmittage nichts gelingen, ein anderes Mal nicht in Gegenwart von 12 Personen, dagegen gelangen alle, sobald er den Elektrophor in ein anderes Zimmer trug. Bei den meisten Versuchen war der Elektrophor durch blauseidene Schnüre isolirt, und mit dem Deckel bedeckt, der durch Berührung el. gemacht worden war. Ja selbst grofse Gewichte bis zu drei Centnern, die an Ketten hingen, oder auf einem Waagebalken ruhten, konnten auf diese Weise über einem Elektrophore in Bewegung gesetzt werden, wenn Schäffer nur mit einem Finger ein Glied der Kette berührte, und bei veränderter Stellung des Elektrophors änderte sich auch die Bewegung und Richtung, wie es obigen Gesetzen gemäfs seyn mufste. Der Elektrophor theilte diese seine bewunderungswürdige Kraft auch andern Körpern mit, sowohl Stühlen und Tischen mit oder ohne Wachstuch, lackirten oder nicht lackirten, auf denen er einige Stunden gestanden hatte, so wie andern Körpern aller Art, auf die man ihn einen Augenblick gesetzt hatte. (!) „Ist vielleicht der Elektricitätsträger mehr Magnet als E.?" ruft der Dr. Schäffer bei Erzählung die-

ser Versuche aus. Mehrere Tage nach dieser Verbindung mit dem Elektricitätsträger äufserten die Körper ihre gesetzmäfsige Einwirkung auf Glocken oder andere bewegliche Körper. Diese dauerhafte Eigenschaft eines auf diese Art elektrificirten oder magnetisirten Trinkglases bemerkte Schäffer auch noch nach 4 Tagen, ungeachtet daraus diese Tage über allerhand und oft getrunken war. Noch mehr. Man nehme 12 Bücher, setze auf das eine den Elektrophor für einen Augenblick, drücke dann dieses für einen Augenblick auf das zweite, dieses auf das dritte u. s. f. Alle werden sich bis zum 12ten ihre Kraft und Eigenschaft mitgetheilt haben, frei hängende Kugeln eben so, wie es der ordentliche Elektricitätsträger thut, in Bewegung zu setzen. Schäffer versuchte dieses mit 100 Büchern, und konnte nicht die geringste Abnahme vom ersten bis zum hundertsten gewahr werden. Oft schien die Wirkung vielmehr zuzunehmen. Ja mit diesen Büchern konnte man eben so wieder ganze Reihen von Tellern, Gläsern u. s. w. elektrisiren.

Unter einer Anzahl von mehreren Personen waren stets nur wenige, bei denen die Bewegungen eben so erfolgten wie bei Schäffer, bei den meisten aber gar nicht. Indefs fand er, dafs diejenigen, welche das Pendel in keine regelmäfsige Bewegung zu versetzen vermochten, diese Eigenschaft erhielten, wenn sie ihre Hände den elektrischen Ausströmungen einer geriebenen Elektrisirmaschine aussetzten, doch war auch dieses Verfahren bei einigen Personen ohne Erfolg. In einem bei dem Werke des Dr. Schäffer abgedruckten Briefe geschrieben den 13. Jan. 1777 zu München erzählt der Professor Xaver Epp, Mitglied der baierschen Akademie der Wissenschaften „er habe von der Akademie den Befehl erhalten, die Schäffer'schen Versuche nachzumachen, aber alle mit den hängenden Glocken seyen seiner unglücklichen Hand nicht gelungen, und dieses habe ihn um desto mehr geschmerzt, da er sich dadurch aller Hoffnung beraubt gesehen, einige Versuche, den thierischen Magnetismus betreffend, anzustellen. Er sey nun ausdrücklich nach Regensburg gereiset, um die Wahrheit zu erfahren. Immer sey ihm anfangs der Zweifel geblieben, dafs alle Wirkungen von einer unmerklichen Bewegung herrührten, die dem Gestelle und den Glocken durch die Hand gegeben werde. Endlich sey er, nachdem Dr. Schäffer viele Geduld bei ihm verschwendet, und nach seinem Belieben verändert habe, was er verlangte, vollkommen überzeugt

worden, und zwar habe ihm besonders dreierlei beweisend geschienen:

1. „Dr. Schäffer habe einen eisernen Balken so an die Thüre befestigt, daſs man ihn nicht im mindesten bewegen konnte, an ihn die Glocke gehängt, und man habe dann nach einer Gegend, wohin der eiserne Balken durchaus unbeweglich war, den Elektrophor 10 Schuhe von der Glocke gestellt. Sobald Dr. Schäffer seine Hand auf das Eisen legte, fing die Glocke an, nach dem Elektrophore zu spielen, so daſs sie endlich 5—6 Zoll weit hin und her schwang."

2. „Die Schwingungen eines an einem Stative hängenden Körpers zeigten richtig nach dem Orte hin, an welchem man ohne Beiseyn des Dr. Schäffer in dem benachbarten Zimmer den Elektrophor gestellt. 3. Epp's eigene Hand war hier eben so unglücklich als in München, sobald aber Dr. Schäffer seine Hand auf die seinige auch nur gelinde legte, zeigte sich die Wirkung, jedoch später und schwächer."

Auſserdem findet sich noch bei Dr. Schäffer's Abhandlung ein Brief vom 20. Oct. 1778 aus München von Dr. Schranck, worin von einem Münchner Gelehrten versichert wird, daſs ihm die Schäffer'schen Versuche vollkommen geglückt seyen. Auch findet sich in des Freiherrn von Aretin Nachträgen zur Literatur der Wünschelruthe aus Ritter'schen Collectaneen, daſs einer der drei Verfasser der drei Münchner Preisabhandlungen über die Analogie der E. und des Magnetismus[1] nämlich Cölestin Steiglehner sagt, er sey gröſstentheils Augenzeuge der Versuche des Dr. Schäffer gewesen, und daſs der Abt Hemmer zu Manheim in einer Recension seiner drei Preisabhandlungen[2] bezeugen soll, daſs ihm selbst die Schäffer'schen Versuche vollkommen gelungen seyen, doch nicht an allen Tagen. Lichtenberg versichterte dagegen späterhin, nie mit seinem kräftigen Instrumente bei aller Vorsicht im Stande gewesen zu seyn, auch nur das mindeste von der Art der Schäffer'schen Versuche hervorbringen zu können, was sich ereignete, sey allemal aus der gewöhnlichen Theorie ohne Voraussetzung neuer Kräfte erklärbar gewesen.

---

1 In den neuen philos. Abhandl. der baierschen Akad. der Wiss. Bd. 2. München 1780. 4.

2 In den rheinischen Blättern zur Gelehrsamkeit für 1781. Heft 5.

Die Versuche Schäffer's waren längst vergessen, als sie in einer ganz neuen Verknüpfung wieder zum Vorschein kamen, und durch die wichtigen Aufschlüsse, die sich einige Physiker davon versprachen, die Aufmerksamkeit noch in einem höheren Grade als jene früheren auf sich zogen. Als nämlich Thouvenel seine Untersuchungen über die sogenannte *unterirdische Elektricität* bekannt machte[1], worin ein gewisser Pennet, ein sogenannter Metall- und Wasserfühler, eine Hauptrolle spielte, welcher die merkwürdige Disposition besitzen sollte, durch unterirdische Erzgänge, Kohlenlager, Wasser u. s. w. auf eine eigenthümliche Art afficirt zu werden, und die Gegenwart derselben durch besondere Empfindungen, Zittern seiner Muskeln und Veränderung des Pulses anzuzeigen, Untersuchungen, die damals besonders die italienischen Gelehrten beschäftigten, erschien auch ein Brief des Abbate Fortis an Spallanzani[2], in welchem der merkwürdige Versuch erzählt ist, daſs in den Händen gewisser dazu die gehörige Anlage habender Personen ein an einem hinlänglich, etwa zwei Fuſs, langen Faden wie Flachs, Hanf oder Seide, hangender Schwefelkieswürfel über einer hinlänglichen, auch in einer Schieblade versteckten, Masse von Metall in schwingende Bewegungen gerathe, und zwar entweder in Kreisen, die immer gröſser werden, umherlaufen, oder in sehr schmalen Ellipsen hin und her schwinge, welche Bewegungen sich wieder verengen und sehr bald zur Ruhe kommen, wenn man den Schwefelkies über einen Stein, ein Buch oder über Holz führt, das Metall aus der Schieblade wegnimmt, oder auch nur den Ellbogen auf den Tisch stützt, in dessen Schieblade sich das Metall befindet, oder ihn sonst mit einem Theile seines Körpers berührt, oder selbst wenn irgend ein Anderer, der mit dem Experimentator in Berührung ist, sich auf den Tisch stützt. Alex. v. Humboldt, welcher[3] von diesen Versuchen eine kurze Nachricht giebt, bemerkte schon, daſs sobald ihm die Augen verbunden wurden, der Schwefelkieswürfel über der Metallplatte in Ruhe blieb.

---

1 Resumé sur les experiences d'électricité souterraine, faites en Italie et dans les alpes depuis 1789—1792. Brescia 1793.

2 Lettera del Abate Alberto Fortis sugli sperimenti di Pennet nel regno di Napoli, nella Romagna, e sullo stato Veneto.

3 Ueber die gereizte Muskel- und Nervenfaser I. 470.

Diese Versuche, von welchen man so gut wie keine Notiz genommen hatte, bekamen auf einmal im Jahre 1807 ein neues Leben durch den bekannten Physiker Ritter, damals in München, nachdem dieser von einem ähnlichen angeblichen Metall- und Wasserfühler, wie Pennet, einem gewissen Campetti, einem tyroler Landmanne, Nachricht bekommen, und die baiersche Regierung veranlaſst hatte, zur Anstellung einer Reihe von wissenschaftlichen Versuchen denselben nach München kommen zu lassen. So wurde denn dieselbe Akademie der Wissenschaften, welche schon früher die Schäffer'schen Versuche zu einem Gegenstande ihrer Prüfung gemacht hatte, von neuem in diese Sphäre mystischer Erscheinungen hineingezogen.

Durch ganz Deutschland fingen an Pendel, eben nicht von Schwefelkies (denn es war gleichgültig, welche Körper an dem Faden hingen, und jeder goldene Ring, der schon in früheren Zeiten nach einem superstitiösen Gebrauche in ein Glas gehalten, durch die Zahl seiner Anschläge an dasselbe, nachdem er allmälig in Schwingung gerathen war, die Anzahl der Lebensjahre andeuten sollte, konnte dazu gebraucht werden), durch ganz Deutschland fingen nunmehr an Pendel zu schwingen, und lebendig zu werden (wie in der ersten Nachricht von den Münchener Versuchen gesagt ist), und zwar nach sehr bestimmten Gesetzen, die schon voraus durch die in dieser Zeit vorzüglich herrschend gewordenen Polaritätsideen, und den polaren Gegensatz, den man überall verfolgte, angedeutet waren, und die sich vorzüglich durch den Gegensatz von Rechts und Links in diesen Bewegungen dem Gegensatze der Körper gemäſs, über welchen die Schwingungen erfolgten, ausdrücken sollten. Ueber dem Nordpole des Magnetes sollten diese mit leise anhebenden, längliche Ellipsen beschreibenden, allmälig sich rundenden Schwingungen von der Linken nach der Rechten, über dem Südpole von der rechten nach der linken gehen; über Kupfer oder Silber wie über dem Südpole; über Zink und Wasser wie über dem Nordpole. Es sollte hierbei nicht gleichgültig seyn, ob man sich von oben herab dem Gegenstande, und zwar so viel als möglich seine Mitte haltend, oder von der Seite näherte; im letzten Falle sollte sich nämlich das Verhältniſs dergestalt verändern, daſs z. B. die oben in Beziehung auf den Nordpol angegebene sich in die entgegengesetzte umwandelte. Auch sollte es nicht einerlei seyn, ob man mit der rechten oder lin-

ken Hand operirte, denn zwischen der rechten und linken Seite sollte der Gegensatz bei manchen Personen bis zur entschiedensten Polarität ausgebildet seyn. Wenn man den Würfel, Ring u. d. g. über eine Orange, Apfel u. s. w. hielte, so sollte er über die Frucht, da, wo sie am Stiele festgesessen, schwingen wie über dem Südpole des Magnetes, wenn man dagegen die Frucht auf die entgegengesetzte Seite wendete, indem man fortfuhr, das Pendel über sie zu halten, so sollte sich die Bewegung in die entgegengesetzte ihrer Richtung nach verändern. Eben solche entgegengesetzte Polaritäten sollten sich an den beiden entgegengesetzten Enden eines frischen Eies zeigen. Am auffallendsten sollte das Pendel die Polarität des menschlichen Organismus anzeigen. Ueber dem Kopfe gehalten schwingt der Würfel angeblich wie über Zink, an der Fuſssohle wie über Kupfer u. s. w. dieselbe Kraft, welche das Pendel in Bewegung setzt, sollte auch das Princip der Bewegungen der Wünschelruthe oder *Baguette* seyn, für welche Ritter als ein noch sichereres Instrument von mehr regelmäſsigem Gange, seinen sogenannten *Balancier* in Vorschlag brachte, einen kleineren Stab oder rectangulären Streifen von Kupfer oder von irgend einem andern Metalle, selbst von Glas oder Siegellack, ungefähr 6 Z. lang, $\frac{1}{4}$ Z. breit und von willkürlicher Dicke, den man auf der Spitze eines senkrecht ausgestreckten Fingers, während die andern gekrümmt sind, in genau horizontaler Lage ins Gleichgewicht bringt, wozu sich am meisten der Mittelfinger der linken Hand eignet. Man hält den Finger, der den *Balancier* trägt, möglichst unbewegt, und für diesen ist die schicklichste Stellung, daſs das eine Ende desselben gegen die Person gerichtet ist, welche den Versuch anstellt, und das andere Ende nach Auſsen. So wie das Pendel über den entgegengesetzten Metallen in entgegengesetzten Richtungen schwingt, so soll der *Balancier* bei denjenigen Personen, die eine hinlänglich starke Disposition haben, was jedoch bei wenigen der Fall ist, sehr bald in eine drehende Bewegung kommen, und zwar dreht er sich auf dem Mittelfinger, dem Zeigefinger oder Daumen der linken Hand ruhend nach Auſsen, d. h. nach der rechten Seite, dagegen auf dem Ringfinger und kleinen Finger nach Innen d. h. nach der linken Seite. Steht die Person während des Versuches mit Metallen oder einigen andern Körpern in Berührung, so hat dieses auf die Richtung der Bewegung groſsen

Einfluſs, und namentlich zeigte sich bei CAMPETTI, während er den *Balancier* auf dem Mittelfinger der linken Hand trug, wenn er galvanisch positive Metalle wie Zink, Zinn, Blei oder Stahl unter seinen Füſsen hatte, die Bewegung nach einer der gewöhnlichen entgegengesetzten Richtung, d. h. der Streifen ging von der Rechten zur Linken, war es aber Eisen, Kupfer, Messing, Silber, Kohle, Reiſsblei, so geschah das Drehen nach der gewöhnlichen Richtung mit groſser Kraft. Auf dieselbe Art, wie die positiven Metalle, wirkte auch der Nordpol eines Magnetstabes, das obere Ende irgend einer Frucht, die Wurzel und der ihr nächst gelegene Theil eines Stammes, und der Kopf eines Kindes oder Mannes; dagegen nach Art der negativen Metalle wirkte der Südpol eines Magnetstabes, das nach dem Stiele zugerichtete Ende einer Frucht, das obere Ende eines Baumes oder einer Pflanze, das Knie oder die Fuſssohle eines Kindes oder Mannes.

Doch es würde zu weit führen, wenn ich die mannigfaltigen polaren Gegensätze zwischen Theilen des menschlichen Körpers, Functionen desselben, und andere Thätigkeiten und Substanzen der Natur, welche in der Wechselwirkung mit dem *Balancier* und der Wünschelruthe durch die entgegengesetzten Bewegungen derselben, den Ritter'schen Angaben zufolge, documentirt werden sollten, hier weiter verfolgen wollte. Man kann dieser Mühe um so mehr überhoben seyn, da es wohl keinem Zweifel unterworfen ist, daſs die meisten Beobachtungen dieser Art auf einer Selbsttäuschung nach vorgefaſsten Ideen beruhten, überhaupt diese ganze Sache fast so gut wie in Vergessenheit gerathen, und keine jener groſsen Erwartungen erfüllt worden ist, mit welchen die scheinbar neue Entdeckung sich damals ankündigte. So groſse Anstalten auch gemacht worden waren, um an dem FRANCESCO CAMPETTI die Thatsachen des Wasser- und Metallfühlens durch gewisse dazu disponirte Constitutionen auſser Zweifel zu setzen, indem sogar eine eigene Commission der baierschen Akademie der Wissenschaften zu diesem Behuf niedergesetzt worden war, welcher RITTER einen weitläufigen Entwurf zu den mit CAMPETTI anzustellenden Versuchen vorgelegt hatte[1], so kam es doch zu keinem entscheidenden Resultate, wobei es unentschieden bleiben muſs, wie

---

1 Siehe dessen Siderismus. I. Bd. 1stes St. 1808. S. 61.

viel Selbsttäuschung oder Betrug von Seiten des italienischen Wasser- und Metallfühlers im Spiele war, der wieder in die Verborgenheit seiner Heimath Gargnano am Gardasee zurückgebracht worden ist, aus welchem er nie mit solchem Lärm hätte hervorgezogen werden sollen.

Für das scheinbar Gesetzmäſsige, was sich bei den Pendelversuchen, die in jener Zeit von so vielen Händen angestellt wurden, insbesondere daſs sie über runden Körpern mehr kreisförmig, über länglichen Körpern mehr als enge Ellipsen erschienen, oder eine geradlinige Richtung von dem einen Ende derselben zum andern befolgten, wurde in einem damals in Gilbert's Annalen[1] erschienenen Aufsatze mit vielem Scharfsinne eine feine unbewuſste Association zwischen Augen- und Handbewegungen als Ursache nachgewiesen, womit auch das Eintreten dieser Pendelschwingungen überhaupt auf eine einfache mechanische Weise erklärt ward. In dem Verhältnisse nämlich, in welchem das Auge die Peripherie eines Körpers durchläuft, um ein Bild seiner Gestalt aufzufassen, folgt die Hand, welche den Faden hält, an welchem der bewegliche Körper hängt. Nach der von der zartesten Kindheit her festgewurzelten Association, welcher zufolge die Hand dem Auge überhaupt in seinen Bewegungen unwillkürlich nachfolgt, begleitet die Hand diese Bewegung in gleicher Richtung, und verschafft durch den feinen Anstoſs, den sie dem Pendel giebt, und der sich immer wieder erneuert, diesem Pendel die sich immer mehr erweiternden Schwingungen über runden Körpern, oder in dem kreisförmigen umschlossenen Raume jenes Glases. Der augenscheinlichste Beweis davon liegt darin, daſs auch bei denen, welche hierbei eine bloſs dynamische Einwirkung ohne jenen mechanischen Anstoſs voraussetzten, und diese Fähigkeit zu besitzen glaubten, alle Bewegungen und wenigstens alles Regelmäſsige, insbesondere alles was sich auf sogenannte polare Gegensätze bezog, aufhörte, sobald sie ihre Augen schlossen. Was die Richtung des Pendels in seinen Bewegungen bald von der Linken zur Rechten, bald umgekehrt betrifft, so bemerkt jener Aufsatz: „Blieb sich das Auge beim Fixiren eines Kreises gleich-

---

1 Versuch einer aus mechanischen Ursachen hergeleiteten Erklärung der Schwingungen u. s. w. in Gilb. kritischen Aufsätzen. 121. auch in den Annalen XXVII. S. 41.

sam selbst überlassen, so erfolgte die Schwingung kreisförmig von der Rechten zur Linken, wenn das Pendel mit der rechten Hand gehalten wurde, von der Linken zur Rechten aber, wenn es sich in der linken Hand befand. Da das Auge beim Anschauen einer Figur dieselbe nicht in allen Puncten zugleich fixiren kann, so bekommt es die Vorstellung von einem Kreise eigentlich nur dadurch, dafs es dieselbe continuirlich von Punct zu Punct verfolgt. Nun ist aber Gesicht und Getaste von der Natur in eine so innige Beziehung gesetzt, dafs die Hand bei jeder Gesichtsvorstellung gleichsam unwillkürlich strebt, dieselbe durch Betastung des gesehenen Gegenstandes zu berichtigen, wobei die rechte Hand ihrer mechanischen Einrichtung gemäfs ohne besondern Einflufs des Willens geneigter seyn wird, sich gegen die Linke, und die Linke gegen die Rechte zu bewegen. Hält man demnach das Pendel über eine runde Scheibe, oder über jeden beliebigen Kreis, der zu grofs ist, um als ein Punct in allen Theilen zugleich fixirt werden zu können, oder klein genug, um eine gleichzeitige Beachtung des Pendels zuzulassen, so fällt das Auge zunächst wechselsweise bald auf das Pendel, bald auf den Kreis, denn beide sind ihm als Objecte gegeben, wodurch zwischen dem zuerst fixirten Puncte und dem Pendel eine geradlinige Bewegung des Auges und demnächst der Hand entsteht. Zu gleicher Zeit aber wird das Auge disponirt, den Kreis seiner Peripherie nach zu umlaufen, wefswegen die geradlinige Schwingung des Pendels sogleich in eine kreisförmige übergeht, wobei das Auge durch Aufmerksamkeit auf die rechte Hand bestimmt wird, links, auf die linke Hand rechts zu laufen, in welcher Richtung hierauf die Bewegung der Hand und des Pendels folgt."

In dieser Art sind nun sehr mannigfaltige Veränderungen, die sich in den Bewegungen des Pendels, nach Verschiedenheit der Form der untergelegten Körper, nach der Art wie das Auge diese Körper fixirt, ereignen können, sehr befriedigend erklärt, und selbst die sogenannten Gegensätze, oder Polaritäten in diesen Bewegungen sehr einleuchtend gemacht. Der Verf. bemerkt, dafs auch alle mögliche Bewegungen des Pendels erfolgten, wenn dieses in freier Luft gehalten wurde, und man sich die nöthigen Figuren lebhaft einbildete, und so findet er auch die Täuschungen in Rücksicht auf die entgegengesetzte Richtung der Bewegungen über sogenannten polarisirenden, oder polarisch

entgegengesetzten, Körpern sehr begreiflich, denn wenn man, während man das Pendel über einen solchen Körper hält, dem man irgend einen bestimmten Pol zuschreibt, von dem eine bestimmte Bewegung abhängt, sich recht lebhaft die Bewegungen vorstellt, die derselbe bewirken soll (z. B. der Südpol eines Magnets von der Linken zur Rechten), so wird aus obigem Grunde die erwartete Bewegung selten ausbleiben, besonders wenn der fixirte Körper ohnehin kreisförmig ist.

Ich würde diesem Gegenstande an diesem Orte nicht so viel Platz eingeräumt haben, wenn er nicht in so unmittelbarer Verknüpfung mit jenen ersten Versuchen Schäffer's stände, die wenigstens so, wie sie vor uns liegen, nicht wohl unter die Kategorie einer bloſsen durch vorgefaſste Meinungen herbeigeführten Selbsttäuschung gebracht werden können. Indeſs stehen eben diese Versuche selbst wieder so isolirt, und eben damit so räthselhaft da, daſs sie weniger dem Physiker und einer Wissenschaft anzugehören scheinen, die nur Erscheinungen beobachtet, welche, wenn sie von Versuchen abhängen, immer wieder dargestellt werden können, und die auf Kräften beruhen, welche an sehr feste einfache Gesetze gebunden sind, als vielmehr dem Physiologen und einer Sphäre von Erscheinungen, in welcher gleichsam jedes Individuum seine eigenthümlichen Gesetze befolgt, und der Mittelpunct einer eigenen kleinen Welt ist, und der Entwickelungsgrund von Verhältnissen, die immer neu entstehen. Aus diesem Gesichtspuncte betrachtet mögen spätere Versuche dieser Art, wie z. B. von Knoch[1] und Amoretti's[2] Arbeiten auf diesem Felde immer noch einen Anspruch auf eine Stelle in einem medicinischen Wörterbuche haben[3]. *P.*

---

1 S. G. LIX. 328.

2 S. G. LX. 255.

3 Cavallo Vollst. Abh. der Lehre von der E. 4te Aufl. 1ster Bd. S. 348. ff. II. Bd. S. 1. ff.

Ingenhouss elektrische Versuche zur Erklärung des Elektrophors nach der Theorie des Dr. Franklin in der Samml. zur Physik und Naturg. II. Bd. 5tes St.

Dr. Schäffer's Versuche u. s. w. Regensburg 1780.

Neue elektrische Versuche u. s. w. von Joh. Georg Heinke. Oldenburg 1779.

Heidmann's, vollständige Theorie der Elektricität. I. Bd. S. 60. ff.

Elektrophor, doppelter.

Eine von LICHTENBERG in Göttingen erfundene Einrichtung des Elektrophors, welche dazu dient, beide Elektricitäten, die positive und negative, auf eine bequeme Art gleich neben einander zu haben.

Man nimmt ein Brett von Lindenholz, ohngefähr 2 Fuſs lang, einen Fuſs breit und einen Zoll dick, überzieht dasselbe ganz mit Zinnfolie oder Goldpapier so, daſs auch der äuſsere Rand belegt wird, befestigt darum mit metallenen Nägeln, welche bis in die Belegung hineingehen, einen Rand von dünnem Holzspahn, der 2½ Linie über das Brettchen hervorragt. Dieses Brett, welches hiernach die Gestalt einer Schüssel hat, gieſst man mit einer Harzcomposition aus. Der dazu gehörige Deckel hält etwa 10 Zoll im Durchmesser. Man reibt die Stelle A mit einem Hasen- oder Katzenfelle, oder mit Flanell, so wird sie negativ, hingegen der darauf gelegte und berührte Deckel nach dem Aufheben positiv. Alsdann stellt man auf B einen messingnen Ring, etwa einen Zoll hoch, und eben so weit im Durchmesser, und läſst aus dem von A aufgehobnen Deckel Funken darauf schlagen, wodurch die Stelle des Harzkuchen, die der Ring berührt, positiv wird. Nach jeder Operation verschiebt man den Ring ein wenig mit einem Federkiele, einer Stange Siegellack, oder einem andern Nichtleiter so, daſs er etwa in acht Operationen gröſstentheils über den ganzen Raum B geführt worden ist, und nimmt ihn alsdann ab. Hierdurch wird B positiv, und der darauf gelegte, berührte und wieder abgenommene Deckel negativ. Also hat man beide Elektricitäten in A und B neben einander; A macht den Deckel positiv, und B negativ. Mit dieser negativen E. kann man A noch stärker negativ machen, indem man den messingnen Ring auf A

Fig. 166.

PARROT, Entretiens sur la Physique 1822. Tome V. p. 54.

LICHTENBERG's 6te Auflage von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre 1793. §. 538. 549.

J. A. DE LUC Neue Ideen über die Meteorologie. I. Theil. Breslau 1787. gr. 8. S. 390. ff.

Ueber die Lichtenberg'schen Figuren von A. PAETS VAN TROOSTWYK und KRAYENHOFF in den Leipz. Samml. 4ter Bd. 4tes St. 1790. gr. 8. S. 357.

setzt, und mit dem von B aufgehobenen Deckel einen Funken daraus zieht. So kann man immerfort abwechseln, und dadurch beide Elektricitäten bis zu einem beträchtlichen Grade verstärken[1].

Joseph Weber hat einen Doppelelektrophor angegeben, der aus einem Harzkuchen besteht, der nicht in eine Form gegossen ist, sondern auf die oben angegebene Weise so, daſs er an seinen beiden Flächen frei ist. Erregt man in diesem Harzkuchen durch Reiben die negative E., so wird er auf der entgegengesetzten Seite, wie in der Theorie des Elektrophors nachgewiesen worden ist, positiv el., und kehrt man ihn also um, so bringt er mit dieser Fläche die entgegengesetzten Erscheinungen hervor. Man kann auch der einen Fläche durch eine geladene Flasche positive E. mittheilen, wo dann die entgegengesetzte Fläche mit negativer E. wirken wird. Auf dieselbe Weise kann man eine Glasplatte, deren Flächen beide frei sind, als einen Doppelelektrophor gebrauchen, sey es nun, daſs man durch Reiben, oder noch kräftiger durch Mittheilung von einem positiven Conductor aus, die eine Fläche positiv elektrisire. Die entgegengesetzte Fläche wird dann mit negativer E. wirksam seyn, und der auf jede Fläche gesetzte Deckel des Elektrophors wird die der eigenthümlichen E. derselben entsprechenden Erscheinungen zeigen[2]. *P.*

Elemente.

Urstoffe, Uranfänge der Körper; *Elementa, Principia prima corporum;* Élémens, Principes des Corps; *Elements.* Man kann die Verschiedenartigkeit der wägbaren Materien von zwei verschiedenen Ursachen ableiten. Entweder liegt allen ein und derselbe Urstoff zum Grunde; je nachdem aber die kleinsten Theile desselben geformt und vereinigt sind, entspringen daraus verschiedenartige Materien. Dieses war die Ansicht mehrerer alten griechischen Philosophen. Oder es giebt mehrere Urstoffe, welche nicht bloſs durch den Bau, sondern auch durch ihre übrigen Eigenschaften von ein-

---

1 Lichtenberg's Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte. I. Bd. 2tes St. S. 42.

2 Begriff und Construction des Doppelelektrophors aus Harz und Glas. Von Dr. Jos. Weber bei G. LI. 198.

ander abweichen. Durch ihre Verbindungen unter einander, nach verschiedenen Verhältnissen, werden die mannigfaltigen Materien, welche wir kennen, hervorgebracht. Bei dieser, ebenfalls schon im Alterthume ausgesprochenen Ansicht waren die verschiedenen Urstoffe zu bestimmen. Lange nahm man als solche *Erde*, *Wasser*, *Luft* und *Feuer* an. Zu den Zeiten von PARACELSUS galten der *Mercur*, worunter alles Flüchtige, der *Schwefel*, oder das *Oel*, worunter alles Brennbare, das *Phlegma*, worunter alles Flüssige und Geschmacklose, die *Erde*, worunter alles Feste, Geschmacklose und Unlösliche, und das *Salz*, worunter alles Feste, Schmeckende und Lösliche verstanden wurde, als Elemente. Sind nun gleich durch die neuere Chemie die meisten von diesen Stoffen als zusammengesetzt erkannt worden, so ist man heutzutage doch nicht im Stande, mit Sicherheit anzugeben, welche Stoffe als Elemente oder als wirklich einfach und also unzerlegbar zu betrachten sind. Wir kennen bloſs auf der einen Seite erwiesen *zusammengesetzte*, auf der andern Seite *unzerlegte* Stoffe, d. h. solche, bei denen es uns noch nicht geglückt ist, sie in heterogene Materien zu zersetzen, und die demungeachtet zusammengesetzt seyn können. Diese unzerlegten Stoffe sind folgende: *Sauerstoff*, *Stickstoff*, *Wasserstoff*, *Fluor*, *Chlor*, *Jod*, *Selen*, *Schwefel*, *Phosphor*, *Kohlenstoff*, *Boron*, *Silicium*, *Zirkonium*, *Titan*, *Tantal*, *Scheel*, *Molybdän*, *Osmium*, *Arsenik*, *Antimon*, *Tellur*, *Wismuth*, *Zink*, *Kadmium*, *Zinn*, *Blei*, *Quecksilber*, *Silber*, *Palladium*, *Rhodium*, *Iridium*, *Platin*, *Gold*, *Kupfer*, *Nickel*, *Kobalt*, *Mangan*, *Chrom*, *Eisen*, *Uran*, *Alumium*, *Glycium*, *Yttrium*, *Magnium*, *Calcium*, *Strontium*, *Baryum*, *Lithium*, *Natrium*, *Kalium*. G.

Elemente

der Bahn der Planeten und Kometen; *Elementa orbitae;* Elements de l'orbite, *Elements of the orbits;* sind diejenigen wesentlichen Bestimmungsstücke, durch welche man die Bahn eines Planeten oder Kometen genau kennen lernt.

Da wir aus theoretischen Gründen wissen, daſs die Bahn eines Himmelskörpers ganz in einer Ebene liegt, und daſs diese Ebene durch den Mittelpunct der Sonne geht; da wir ferner wis-

sen, daſs, nach dem in unserm Sternsysteme geltenden Gesetze der Attraction, die Bahnen nur Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln seyn können, so läſst sich leicht übersehen, welche Elemente der Bahn man kennen muſs, um die Bahn selbst genau zu kennen.

Um die *Lage der Ebene* zu bestimmen, dienen 1. die Neigung gegen die Ekliptik, und 2. der Ort des aufsteigenden Knotens. Letzterer giebt nämlich die Lage der Durchschnittslinie an, in welcher die zu bestimmende Ebene die Ekliptik schneidet. Um die Gestalt der in dieser Ebene beschriebenen Bahn anzugeben, sind drei Elemente nöthig, nämlich 1. die Lage der groſsen Axe der Bahn, oder derjenige heliocentrische Ort, wo der Himmelskörper seine Sonnennähe erreicht, welchem die Sonnenferne, wenn die Bahn eine Ellipse ist, gerade gegenüber liegt. 2. Die Gröſse der halben Axe der Bahn oder die mittlere Entfernung von der Sonne. 3. Die Excentricität der Bahn, oder das Verhältniſs, welches der Abstand des Brennpunctes vom Mittelpuncte zur halben Axe hat. Bei der Parabel kann statt der beiden letzten Elemente nur eines, nämlich der Abstand in der Sonnennähe, angegeben werden, da in der Parabel eben so wenig die halbe Axe als die Excentricität angegeben werden kann. Ist die Bahn eines Kometen eine Hyperbel, so nennt man die Excentricität negativ, und die halbe Axe kann gleichfalls angegeben werden.

Durch die eben genannten Elemente ist, wofern die Bahn eine Ellipse ist, auch die Umlaufszeit des Planeten bekannt, indem diese aus dem dritten Keplerschen Gesetze[1] mit Hülfe der mittlern Entfernung gefunden wird. Aber um den Ort des Himmelskörpers für einen bestimmten Zeitpunct anzugeben, fehlt noch ein sechstes Element, nämlich die *Epoche*, das heiſst die Angabe, in welchem Puncte der Bahn sich der Himmelskörper in einem gegebnen Augenblicke befand. Bei den Kometen giebt man gewöhnlich den Augenblick an, da sie die Sonnennähe erreichten, oder die Zeit des Perihelii. Bei den Planeten ist die Epoche gewöhnlich der Anfang irgend eines bestimmten Jahres z. B. in Laplace Exposition du système du monde der Anfang des Jahres 1750. Aus diesen Elementen läſst sich der wahre Ort des Planeten für jede Zeit berechnen. Die Epoche

1 S. *Bahn* Th. I. S. 671.

giebt nämlich die mittlere Länge des Planeten für jenen Zeitpunct an. Rechnet man also für die seit der Epoche verflossene Zeit die der ganzen Umlaufszeit gemäſse mittlere Bewegung hinzu, so hat man den *mittlern Ort* für den angegebnen Zeitpunct; da man aber auch den Ort der Sonnennähe kennt, so giebt der Unterschied beider die *mittlere Anomalie*, und da sich aus der mittlern Anomalie die *wahre Anomalie* finden läſst, so ergiebt sich der wahre Ort in der Bahn. Es erhellet aber sogleich, daſs der Abstand dieses wahren Ortes vom Knoten der Bahn, verbunden mit der Neigung der Bahn, die heliocentrische Länge und Breite des Planeten angiebt.

Auch bei den Kometen ist die Bestimmung ziemlich eben so, da man aus ihrem Abstande von der Sonne im Perihelio, die in bestimmter Zeit erlangte Anomalie sogleich herleiten kann.

Wenn man die Elemente einer Kometenbahn auch nur so zu berechnen im Stande ist, wie sie einer parabolischen Bahn entsprechen, so reichen diese dennoch hin, zu bestimmen, ob der Komet schon sonst beobachtet und berechnet ist. Findet man nämlich, daſs der neu beobachtete Komet sich in eben der Ebene bewegt, wie ein früher beobachteter, daſs die Axe seiner parabolischen Bahn mit der Axe der Bahn des früher beobachteten zusammenfällt, und er in eben der Entfernung von der Sonne seine Sonnennähe esreicht, so heiſst das, er durchläuft genau dieselbe Parabel wie der früher beobachtete. Nun ist es freilich wahr, daſs diese Parabel vielleicht nie die genaue Bahn ist, sondern daſs wir uns statt derselben eine sehr lange Ellipse, deren perihelischer Abstand eben so groſs ist, denken müssen, und es könnte also allenfalls seyn, daſs zwei sehr verschiedene Ellipsen, die sich im Scheitel berührten, von diesen zwei Kometen durchlaufen würden; aber dies ist doch so wenig wahrscheinlich, daſs wir mit groſser Sicherheit den neuen Kometen als einerlei mit dem früher beobachteten ansehen dürfen. Ja wir sind sogar dann hierzu ziemlich berechtiget, wenn die Elemente nicht ganz genau zusammenstimmen, da vermöge der Perturbationen die Lage der Bahn und ihre Gestalt und Gröſse Abänderungen erleiden, die bei der langen Umlaufszeit der Kometen nicht unerheblich sind. *B.*

Elementenglas.

Ein Gefäfs, welches 4 nicht chemisch mit einander verbindbare Flüssigkeiten enthält, welche die 4 Elemente der Alten vorstellen sollen, und sich nach jedesmaligem Schütteln ihrem verschiedenen specifischen Gewichte gemäfs über einander lagern. Diese Flüssigkeiten sind: 1. Quecksilber; 2. die Auflösung von (Kieselerde-freiem) kohlensaurem Kali in der ungefähr gleichen Wassermenge; 3. gewöhnlicher Weingeist; 4 rectificirtes Steinöl. Man kann das wässerige kohlensaure Kali, welches das Wasser darstellen soll, durch etwas kohlensaures Kupferoxyd blau färben, und das Steinöl, welches das Feuer wäre, durch Drachenblut roth; doch theilt sich letztere Farbe auch dem Weingeiste mit. *G.*

Elongation.

Ausweichung; *Elongatio*; Élongation; *Elongation;* heifst die scheinbare Entfernung eines Planeten, von der Sonne oder der Winkel, welchen die nach dem Planeten und nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogne Linien mit einander bilden. Bei den untern Planeten hat diese Elongation einen gröfsten Werth, worüber sie nicht hinausgeht. Der Planet erreicht diese gröfste Elongation, wenn die von der Erde zu ihm hin gezogene Linie die Bahn des Planeten berührt; es ist daher leicht, für eine kreisförmige Bahn des Planeten, dessen Abstand von der Sonne bekannt ist, die gröfste Elongation zu berechnen. Wegen der elliptischen Form der Bahnen sind nicht immer die gröfsten Elongationen gleich grofs, sondern es hängt dieses von der Stellung ab, welche der Planet in seiner Bahn hat, wenn jene Gesichtslinie eine Tangente der Bahn ist. Die *Venus* kann sich nie volle 48 Grade, der *Mercurius* nur 28½ Gr. von der Sonne entfernen. *B.*

Emanationssystem.

Emissionssystem. So nennt man diejenige Theorie des Lichtes, welche annimmt, dafs das Licht als wirklich materiell von den leuchtenden Körpern ausgehend anzusehen sey,

oder dafs es Lichttheilchen sind, die mit sehr großer Geschwindigkeit den Raum durchlaufend zu den Orten, wo sie Erleuchtung bewirken, hingelangen.

Newton[1] wirft am Ende seiner Optik unter mehreren andern Fragen auch die auf, ob die Aussendung des Lichtes (*emissio luminis*, émission de la lumière, *emission of light*) vielleicht durch eine vibrirende Bewegung der leuchtenden Körper hervorgebracht werde; aber er macht nachher auf mehrere Schwierigkeiten aufmerksam, denen diese Hypothese unterworfen ist. In der 19ten Frage äufsert er nämlich, alle die Meinungen möchten wohl irrig seyn, welche die Phänomene des Lichtes aus neuen Modificationen der Strahlen herleiten, diese beruhten vielmehr auf proprietatibus congenitis et immutabilibus. Auch die Meinung sey irrig, dafs das Licht in einer bloſsen durch ein Medium fortgepflanzten Bewegung bestehe, indem die geradlinige Bewegung an einem das Licht aufhaltende Hindernisse vorbei nicht statt finden könne, wenn jene, der Wellenbewegung ähnliche, Fortpflanzung statt fände, u. s. w. Dieses veranlafst ihn denn endlich in der 21ten Frage folgendes aufzustellen: Ob nicht die Lichtstrahlen kleine Körperchen sind, die von den leuchtenden Körpern ausgesandt, und durch die anziehenden Kräfte, mit welchen das Licht und die Körper auf einander wirken, gebrochen werden? Solche Körperchen nämlich würden durch gleichartige Medien in geraden Linien fortgehen; sie könnten gewisse Eigenschaften besitzen, und diese beim Durchgange durch verschiedene Medien ungeändert behalten; die Gesetze der Refraction lieſsen sich dann genau durch Attraction der Körper gegen die Lichttheilchen erklären; die Reflexion der Strahlen, wenn sie aus dem Glase allzuschief geneigt ausfahren sollten, lasse sich doch nicht aus einem Widerstande des leeren Raumes, dagegen sehr gut durch eine Attraction, welche den Strahl nöthige, in das Innere des Glases zurückzukehren, erklären. Um die Verschiedenheit der Farben zu erklären und die ungleichen Grade der Brechbarkeit zu erhalten, habe man dann nichts anderes nöthig, als den Lichttheilchen eine verschiedene Gröſse beizulegen; die welche am kleinsten sind, würden den violetten Strahl, der auch der dunkelste und matteste ist, hervorbringen und am leichtesten und stärksten von

1 Optice, auct. Newton. quaest. 8.

ihrem Wege abgelenkt werden; die übrigen, je nachdem sie aus grösseren Theilchen bestehen, brächten die allmälig stärkeren und lebhafteren Farben hervor, die schwerer von ihrem Wege abgelenkt werden. Um die Anwandlungen der leichtern Zurückwerfung und des leichtern Durchganges zu erklären, habe man nur nöthig anzunehmen, daſs jene kleinen Lichttheilchen in den Körpern, auf welche sie einwirken, Vibrationen hervorbringen, welche vermöge einer die Schnelligkeit der Strahlen übertreffenden Schnelligkeit so auf sie wirken, daſs sie ihre Geschwindigkeit abwechselnd vermehren und vermindern, und daher jene Wechsel oder Anwandlungen erregen. Die eigenthümliche Brechung der doppelt brechenden Körper scheine aus einer anziehenden Kraft zu entstehn, welche den Seiten der Lichttheilchen und der Krystalltheilchen eigen sey.

Dieser Ansicht, daſs der Lichtstrahl aus wirklichen schnell forteilenden Theilchen bestehe, hat man vorzüglich entgegengesetzt, daſs die von den immer leuchtenden Körpern ausgehenden Lichttheilchen endlich eine Verminderung der Masse zur Folge haben müſsten, die doch bei der Sonne nicht statt finde; daſs die nach allen möglichen Richtungen fortgehenden und sich durchkreuzenden Lichtstrahlen nicht ohne ein Aneinandertreffen der Theilchen denkbar sey, diese gegenseitigen Stöſse der Lichttheilchen aber den geraden Lauf der Strahlen verändern müsse; daſs der Durchgang durch transparente Körper nicht zu erklären sey, da diese überall dem Lichte einen offenen Durchgang zu gestatten scheinen; daſs die Weltkörper eben so gut durch diese Lichttheilchen, mit denen der ganze Weltraum erfüllt sey, müſsten aufgehalten werden, als durch einen Aether, dessen Existenz Newton deswegen leugnet, weil kein Widerstand in der Bewegung der Planeten merklich sey, u. s. w.

Es ist wohl nicht zu verkennen, daſs diese Einwürfe nicht gerade so leicht wegzuräumen sind; indeſs treffen sie fast alle auch mit gleicher Gewichtigkeit die entgegengesetzte Theorie, obgleich man sie da in etwas veränderter Form aussprechen muſs. Soviel erhellt immer, man mag die Emissions- oder die Vibrationstheorie annehmen, daſs das Licht sich nach Gesetzen bewegt und die Erscheinungen, die wir wahrnehmen, nach Gesetzen bewirkt, bei welchen unsre von geworfnen Kugeln in Beziehung auf die eine, und von Wasserwellen in Beziehung

auf die andre Theorie, hergenommenen Vergleichungen als viel zu roh erscheinen.

Was die Erklärung der Erscheinungen betrifft, so kann ich bis jetzt mich nicht von der Ueberzeugung losreifsen, dafs diese bei der Emissionstheorie leichter ist; denn da die Mechanik der Wellen so höchst schwierig ist, so scheint diese mir noch nicht geeignet, uns über alle Phänomene des Lichtes Aufschlufs zu geben. Es ist wahr, dafs einige Erscheinungen z. B. die der Inflexion des Lichts der Emissionstheorie Schwierigkeiten entgegenstellen, und ich bin weit davon entfernt, diese verhehlen zu wollen; aber während wir diese Unvollkommenheit anerkennen, scheint es doch, dafs wir die einfachen und leichten Darstellungen, welche diese Theorie sonst gewährt, nicht eher aufgeben dürfen, bis sich ein noch mehr entscheidendes Uebergewicht auf der andern Seite zeigt. Alle unsere Hypothesen haben ja nur den Zweck, die Phänomene unter eine leichte Uebersicht zu bringen, die Phänomene selbst nach Zahl und Mafs zu bestimmen, und soviel möglich, die Erfolge in noch unerforschten Fällen vorauszusagen; — dieses leistet die Newton'sche Theorie in hohem Grade. — Die Wahrheit selbst aber liegt aufser dem Gebiete dessen, was menschliche Forschungen erreichen können[1]! *B.*

Entfernung

wahre; Abstand; *Distantia;* Distance; *Distance.* Die *wahre Entfernung* zweier Puncte von einander ist die *zwischen ihm gezogene gerade Linie; Abstand eines Punctes von einer geraden Linie ist die Länge des von dem Puncte auf die Linie gefällten Perpendikels; Abstand eines Punctes von einer Ebene ist die Länge des von dem Puncte auf die Ebene gefällten Perpendikels.*

Wenn man von der Entfernung zweier Körper von einander redet, so bedarf es eigentlich erst einer genaueren Bestimmung, welche Puncte man betrachten will; bei den Weltkörpern versteht man immer die Entfernung der Mittelpuncte von einander, wenn keine weitere Bestimmung beigefügt wird.

1 Ausführlichere Untersuchungen hierüber s. Art. *Licht.* Vergl. *Durchsichtigkeit.*

Unter *Entfernung zweier auf einer Kugeloberfläche liegender Puncte*, versteht man die *Länge des zwischen ihnen gezognen Bogens eines gröfsten Kreises*. Da die Erde keine genaue Kugel ist, so ist im strengen Sinne die Linie, welche die Entfernung zweier Puncte auf der Oberfläche mifst, nicht mehr ein gröfster Kreis, sondern mufs mit mehr Schwierigkeit gefunden werden. Diese kürzeste Linie auf der sphäroidischen Erde heifst die *geodätische Linie;* wie man sie findet, lehrt unter andern Littrow [1]. *B.*

Entfernung

scheinbare; *Distantia apparens*; Distance apparente; *apparent Distance*; ist der Winkel, welcher in unserm Auge entsteht, wenn von den zwei Puncten, deren scheinbarer Abstand von einander bestimmt werden soll, gerade Linien bis zu unserm Auge gezogen werden. Auf diese Weise reden wir von dem scheinbaren Abstande zweier Sterne von einander u. s. w.; dafs durch diese *scheinbare* Entfernung der Gegenstände von einander ihre *wahre* Entfernung von einander gar nicht bestimmt wird, erhellet von selbst, indem zwei von unserm Auge aus fast nach derselben Richtung liegende Gegenstände doch ungemein weit von einander entfernt seyn können. Eben so wenig liegt in dieser Bestimmung der scheinbaren Entfernung ein Mittel, die wahre Entfernung derselben von uns selbst zu bestimmen, wenn nicht noch andere gegebene Stücke hinzu kommen.

Die Untersuchung, wiefern unser Urtheil bestimmt wird, wenn wir aus Umständen, die die *erscheinende* Entfernung eines Gegenstandes zu bestimmen scheinen, seine wahre Entfernung glauben angeben zu können, gehört unter die Betrachtung über Gesichtstäuschungen [2]. *B.*

Epakten.

Epactae; Epactes; *Epacts*; (ἐπακτός, hinzugekommen, also hier die hinzukommenden Tage) heifsen in der Chronologie diejenigen Zahlen, welche für ein jedes Jahr das Alter des Mondes

---

1 S. Astronomie. I. 278.

2 S. *Gesicht.*

am Neujahrstage angeben, oder anzeigen, um wie viel Tage der letzte Neumond des vorigen Jahres dem Anfange des Jahres vorausgegangen ist. Der letzte Neumond im Jahre 1825 fällt auf den 9. Dec. also 22 volle Tage vor Anfang des Jahres, daher ist 22 die Epakte des Jahres 1826. Fällt der Neumond auf den Neujahrstag selbst, so ist die Epacte = 0. Eigentlich zeigt die Epakte also an, wie viele Tage das Mondesalter am 31. Dec. betrug, und der Neujahrstag ist zum Beispiel schon der 23ste Tag nach dem Neumonde, wenn die Epakte 22 ist.

Da das Mondenjahr nur wenig über 354¼ Tage, also 11 Tage weniger, beträgt, als das Sonnenjahr, so nimmt die Epakte jährlich um 11 zu. Sie war z. B. für 1825, 11 oder der Neujahrstag selbst war der 12te nach dem Neumonde. Dieses giebt ein leichtes Mittel, die Epakte für jedes Jahr zu finden. Mit der güldenen Zahl 1 nämlich gehört die Epakte 0 (die man auch wohl * bezeichnet und die an die Stelle des vollen Monats oder der 30 tritt) zusammen; also mit der güldnen Zahl 2, die Epakte 11, mit der güldnen Zahl 3, die Epakte 22, mit der güldnen Zahl 4, die Epakte 3, weil der volle Monat oder Mondsumlauf einmal weggelassen wird. So erhält man folgendes Täfelchen für alle 19 Jahre des Mondscirkels[1].

Zahl der Jahre	Epakte	Zahl der Jahre	Epakte
1.	0.	11.	XX.
2.	XI.	12.	I.
3.	XXII.	13.	XII.
4.	III.	14.	XXIII.
5.	XIV.	15.	IV.
6.	XXV.	16.	XV.
7.	VI.	17.	XXVI.
8.	XVII.	18.	VII.
9.	XXVIII.	19.	XVIII.
10.	IX.	20.	0.

Der letzte Uebergang vom 19ten zum 20ten Jahre, welches wieder das erste Jahr eines neunzehnjährigen Cyclus ist, beträgt 12, und heifst der Sprung der Epakte. Man rechnet nämlich hier nach dem *Metonschen Cyclus*, welchem zufolge 235 Mondwechsel gleich 19 Sonnenjahren sind. Da nun 19 unserer Jahre

---

1 S. Art. *Cykel.*

$19 \times 365 + 4$ Tage, die letzten nämlich als Schalttage, enthalten, die 235 Mondwechsel aber aus $19\frac{7}{19}$ Mondenjahren bestehen, welche 19×354 und 7×30 Tage, aber wegen der Schaltjahre noch 4 Tage mehr, also $19 \times 354 + 7 \times 30 + 4 = 6940$ Tage enthalten, so mufs am Schlusse des Cyclus ein Tag zugegeben werden. Mit andern Worten, in 19 Jahren rückt der Neumond durch 11×19 oder 209 Tage fort; da man nun allemal, wenn 30 Tage voll waren, diese weggelassen hat, so würde man, wenn auch zum siebenten Male 30 ausfielen, diese Fortrückung auf 210 Tage setzen, bei dem letzten Uebergange von 18 auf 29, wird also mit Recht der Monat schon als vollendet angesehen, und mit 0 wieder angefangen.

Die eben mitgetheilte Tabelle giebt die Epakten für das jetzt laufende Jahrhundert für jeden bekannten Werth der güldnen Zahl richtig an. Da aber 19 Sonnenjahre nicht genau mit 235 Mondenmonaten übereinstimmen, sondern jene fast um $1\frac{1}{2}$ Stunden länger sind, so beträgt das nach 16 Mondcirkeln, oder genauer nach 312 Tagen, einen Tag, und im Julianischen Kalender mufs die Epakte fortgerückt werden. So ist z. B. in unsrer Zeit im Julianischen Kalender die Epakte XII mit der güldenen Zahl I verbunden, und dieses dauert von 1798 bis 2110, wo die mit der güldenen Zahl = 1 verbundene Epakte in XIII übergeht. Im Gregorischen Kalender wird dieser Unterschied zum Theil durch die wegbleibende Einschaltung ausgeglichen.

Man pflegt in den Gregorischen Kalendern die Zahlen von XXX bis I in rückwärts gehender Ordnung neben die Tage der Monate zu schreiben, so dafs der erste Januar XXX oder *, der zweite XXIX, der dritte XXVIII und so fort, der 31. Januar *, der 1. Febr. XXIX und so ferner neben sich erhält. Wäre nun die Zwischenzeit zwischen zwei Neumonden 30 Tage, so würde die Epakte jedes Jahres bei den Tagen seiner Neumonde stehen, z. B. 1825 war die Epakte XI, und in dem eben beschriebenen Kalender haben 20. Januar, 19. Februar, 21. März die Zahl XI neben sich und diese Tage würden bei jener Voraussetzung die Neumondstage geben. Aber die Voraussetzung ist unrichtig, indem der Mondsmonat nur $29\frac{1}{2}$ Tage beträgt, weshalb man abwechselnd dem ersten Mondwechsel 30, dem zweiten 29 Tage beilegt, u. s. w. Wenn man also die Zahlen beim ersten Monate von XXX, beim zweiten von XXIX anfangen läfst, so hat man am 1. Januar XXX, am 30. Januar I, am 28. Febr. I; am

30. März I, am 26. April I, am 26. Mai I, und so ferner, und nun steht die Epakte des Jahres neben den Neumondstagen. Indeſs ist zu bemerken, daſs diese nach der Epakte berechneten Neumonde, da sie nur nach ganzen Tagen berechnet sind, nicht genau mit dem astronomischen Neumonde zusammentreffen, und also nur als ein oberflächliches Hülfsmittel zur Bestimmung der Mondserscheinungen gelten können.

Die ganze Anordnung dieser Epakten hatte nur den Zweck, das jedesmalige Osterfest leichter berechnen zu können, weshalb auch diese, von der astronomischen Rechnung etwas abweichenden, Epakten die *kirchlichen Epakten* heiſsen; jetzt, da das Osterfest sich nach der astronomischen Bestimmung des Vollmondes richtet, hat die ganze Lehre von den Epakten nur einen sehr untergeordneten Werth. Manches dahin Gehörige, nebst den nöthigen Tabellen, enthält Kornick's System der Zeitrechnung. 1825. *B.*

Ephemeriden.

Astronomische Jahrbücher; *Ephemerides astronomicae;* Éphémerides; *Ephemeris;* sind diejenigen Bücher, in welchen der Ort der Himmelskörper für jeden Tag eines bestimmten Jahres angegeben wird, und die Erscheinungen, welche sie darbieten, voraus bekannt gemacht werden. Sie werden aus den Tafeln, welche die wahre Bewegung der Himmelskörper im Allgemeinen angeben, für die bestimmten Zeitpuncte berechnet, und dienen, um auf die Erscheinungen, die beobachtet zu werden verdienen, im Voraus aufmerksam zu machen.

Etwas diesen astronomischen Kalendern Aehnliches scheinen schon die Alten gehabt zu haben, indem man sieht, daſs sie von bevorstehenden Finsternissen u. dgl. unterrichtet waren: man weiſs auch, daſs Democritus ein Buch, Parapegmata betitelt, geschrieben hat[1], welches solche astronomische Vorausbestimmungen enthielt. Im Manuscript sollen noch Ephemeriden des Rabbiners Salomon Jarchus für das Jahr 1150 vorhanden seyn[2]. Purbach gab für die Jahre 1450 bis 1461 solche

1 Vitruvii L. IX. C. 7.

2 De Zach corresp. astron. VII. 22.

Ephemeriden heraus; aber weit vollständiger und genauer waren die, welche REGIOMONTANUS im Jahre 1474 zuerst heraus gab, und von diesen bemerkt WEIDLER[1]: opus hoc a litteratis tanto applausu susceptum est, ut singula exempla duodecim aureis venderentur, Hungaris, Italis, Gallis, Britannis certatim coëmentibus. Nachher haben STÖFLER, LEOVITIUS, ORIGANUS, KEPLER Ephemeriden herausgegeben, und später MANFREDI's Ephemerides coelestium motuum von 1715 an, welche ZANOTTI von 1750 an fortsetzte, sich viel Beifall erworben.

Unter den noch jetzt jährlich herauskommenden astronomischen Kalendern haben die *Connaissance des tems*, am frühesten angefangen. PICARD gab sie von 1679 an heraus, und sie sind nachher unausgesetzt herausgegeben worden. In den neuesten Zeiten sind den Berechnern der Connaissance des tems manche einzelne Nachlässigkeiten vorgeworfen worden[2].

Die von HELL 1757 angefangenen *Ephemerides astronomicae* ad meridianum Viennensem dauern noch fort.

Der *Nautical Almanac* and astronomical Ephemeris ist seit 1767, anfangs unter MASKELYNE's Aufsicht, ununterbrochen herausgekommen. Auch ihm wurden in neuern Zeiten Nachlässigkeiten vorgeworfen, aber die englische Admiralität hat, bewogen durch die Verlegenheiten und Gefahren, denen Seefahrende durch eine unrichtige Ephemeride ausgesetzt sind, für eine zuverlässige sorgfältigere Revision gesorgt.

Das *astronomische Jahrbuch*, welches in wenig veränderter Form seit 1776 in Berlin herauskommt, hat unter BODE's funfzigjähriger Leitung sich immer als mit Sorgfalt berechnet gezeigt, und ist, so wie manche der Vorigen durch die Sammlung astronomischer Abhandlungen ein Buch von bleibendem Werthe.

Auch die Mailändischen *Effemeridi astronomiche* gehören noch immer zu den sehr geachteten astronomischen Ephemeriden. *B.*

---

1 Histor. Astron. XII. 13.

2 Von Zach hat dieses öfter in der Corresp. astron. gethan z. B. daselbst XIII. 7.

Epicykel.

Epicyclus; Épicycle; *Epicycle.* Die älteren Astronomen, welche die Erde als ruhend ansahen, bemerkten, daſs die Bewegungen der Himmelskörper nicht durch ein Fortrücken auf einer einfachen, ungefähr kreisförmigen, Bahn erklärt werden könnten; sie nahmen daher eine Bewegung auf einem Kreise, dessen Mittelpunct selbst einen Kreis durchlief, an, und nannten nun den Kreis, dessen Mittelpunct fortrückte, den *Epicykel*, statt daſs der andere Kreis, auf welchem der Mittelpunct des Epicykels sich bewegte, *circulus deferens* hieſs. Sobald man nämlich der Erde keine Bewegung beilegte, konnte die bald rückgängige, bald rechtläufige Bewegung der Planeten und die, besonders beim Mars auffallende, Ungleichheit ihres Abstandes von der Erde nicht durch ein Fortgehen auf einer einfachen Bahn erklärt werden, die Epicykel aber stellten dieses alles ganz gut dar. Ich will dieses an der Bewegung des *Mars* zeigen, der in ungefähr 23 Monaten einen Umlauf macht, und also nach jener Ansicht seinen Epicykel in einem Jahre durchläuft, während des Epicykels Mittelpunct in 23 Monaten auf dem Circulus deferens seinen Umlauf vollendet. Die Vergleichung der beiden Figuren, die ich hier mit gleichen Buchstaben bezeichnet liefere, wird leicht übersehen lassen, daſs in der einen, die dem wahren Weltsysteme gemäſs gezeichnet ist, die Abstände des Planeten in jedem Zeitpuncte von der Erde eben so groſs sind, und daſs die Richtungslinien nach dem Planeten hin eben die Lage haben, wie in der andern, wo die Darstellung dem Ptolemäischen Systeme gemäſs ist. Da Mars etwa 23 Monate zu seinem Umlaufe gebraucht und die Erde 12 Monate, so ist, in der wahren Ordnung der Planetenbewegungen, Fig. 167. wenn die Erde zuerst sich in 0′ befand, als Mars in 0 war, jene in zwei Monaten nach 1′, dieser nach 1 gekommen, folglich ist 1′ 1 der wahre Abstand beider Körper von einander und die Richtung der Linie 1′ 1 gegen 1′ 0, welche letztere mit 0′ 0 parallel ist, zeigt das scheinbare Fortrücken des Mars, so wie es der Erdbewohner beurtheilt. Wäre dagegen die Erde ruhend in E geblieben, während Fig. 168. sich im ersten Zeitpuncte der Mittelpunct des Epicykels in a, Mars aber auf dem Epicykel in 0, befand, und während jener nach b, dieser auf dem Epicykel von 0′ nach 1 fortging: so würde nach 2 Monaten Mars in 1 stehen und dem Erdbewohner

um eben den kleinen Winkel 1 E 0, wie in der ersten Figur um 1 1′ 0 fortgerückt erscheinen und E 1 wäre = 1′ 1. Die epicyklische Bewegung giebt also den relativen Ort des Mars nach Verlauf von 2 Monaten richtig an, wenn man den Mittelpunct des Epicykels so weit fortrücken läſst, als es der wahren Bewegung des Mars auf seiner Bahn gemäſs ist, und wenn man den Planeten auf dem Epicykel von einem mit a o parallel gezogenen Radius an so weit fortrücken läſst, als es der wahren Bewegung der Erde in ihrer Bahn gemäſs ist.

Für die folgenden Zeitpuncte läſst sich eben so urtheilen. Nach der wahren Ordnung der Planetenbewegungen ist nach 4 Monaten die Erde nach 2′, Mars nach 2 gekommen und 2′2 giebt die wahre Entfernung beider Körper von einander an, zöge man aber durch 2′ eine Linie mit 0′0 parallel, so würde der Winkel, den diese mit 2′2 macht, die scheinbare Fortrückung des Mars während der 4 Monate angeben. Eben so sind 3′, 3 die Stellungen beider Körper nach 6 Monaten; 4′, 4, die Stellungen nach 8 Monaten, und so lieſse sich leicht weiter zeichnen. Dagegen in der epicyklischen Zeichnung würde man sagen, 4 Monate nach dem ersten Zeitpuncte sey der Mittelpunct des Epicykels nach c gelangt, so daſs der Epicykel selbst, wenn wir ihn als im Weltraume gezeichnet denken, nun die Stellung 0″2 hätte; auf ihm ist der Planet nach 2 gelangt, weil er in 4 Monaten auf dem Epicykel von 0″ an 120 Grade durchlaufen hat; der Planet steht also nach diesem Systeme in 2 und die Erde in E, und da die Linie E 2 eben so lang, als die wahre Distanz 2′ 2 in der ersten Figur ist, und auch die scheinbare Fortrückung, nämlich der Winkel 2 E a eben so groſs als bei der dem wahren Weltsysteme gemäſsen Zeichnung, so geben die Erscheinungen nicht so unmittelbar einen Grund, die Epicykeln zu verwerfen.

Für den vierten Zeitpunct, nach 6 Monaten, nimmt die epicyklische Zeichnung den Mittelpunct des Epicykels in d an, weil aber in 6 Monaten der Planet den halben Epicykel durchläuft, so ist er auf dem Epicykel 0‴ h h 3, nach 3 gelangt, und E 3 stellt seinen Abstand von der Erde und seine scheinbare Lage richtig dar. Im fünften Zeitpunct nach 8 Monaten versetzen wir des Epicykels Mittelpunct nach e, den ganzen Epicykel nach 0⁗ k k 4, und von e o⁗, welche mit a o parallel ist, an, hat

der Planet 240 Grade bis nach 4 durchlaufen, so das E4 seine Stellung gegen die Erde E zeigt.

Aus diesen Betrachtungen erhellet, daſs diese epicyklische Theorie die Erscheinungen darstellt; und so lange man also die Ruhe der Erde als etwas, woran nicht gezweifelt werden könne, annahm, war es begreiflich, daſs man diese Theorie als die richtige ansehen konnte. Für uns freilich, die wir nach den Kräften fragen, welche jenen leeren Mittelpunct um die Erde herumführen, und nach den Kräften, welche jener leere Mittelpunct besitzt, um den Körper auf dem Epicykel zu erhalten, für uns kann ein solches System durchaus nicht mehr haltbar erscheinen. Ja selbst Copernicus, der nach diesen Kräften noch nicht fragte, sah sehr richtig ein, daſs man nur das einzige, durch gar nichts begründete Vorurtheil, daſs die Erde unbeweglich sey, aufzugeben brauche, um ein unstreitig viel einfacheres Weltsystem, wo alle Planetenbewegungen die Sonne zum Mittelpuncte haben, zu erhalten[1]. *B.*

Epoche.

Epocha; Époque; *Epoch*. Dieses Wort wird in der *Astronomie* seiner eigentlichen Bedeutung ganz gemäſs, (ἐποχή, das Anhalten, die Hemmung) als Anfangspunct oder Haltpunct der Bewegung für einen bestimmten Zeitpunct gebraucht. Die Epoche der mittlern Länge der Sonne für die Pariser Mitternacht des 31. Decbr. 1800 war zum Beispiel 9 Zeichen 10°. 9′. 13″. und man kann also von diesem Anfangspuncte an, wenn man die tägliche mittlere Bewegung der Sonne kennt, für jeden Zeitpunct die mittlere Länge bestimmen. Diese Epoche des mittlern Ortes eines Planeten in seiner Bahn gehört daher zu den Elementen der Planetenbahn, die man kennen muſs, um die Bewegung und den Ort desselben vollständig berechnen zu können. In den Tafeln wird der mittlere Ort für den Anfang jedes Jahres angegeben, und dann die mittlere Bewegung für Tage, Stunden u. s. w. gehörig hinzugefügt.

In der *Chronologie* heiſst Epoche der Zeitpunct, wo eine Periode anfängt, daher sagt man: Eine Epoche machende Begebenheit. Um die historischen Epochen mit einer allgemeinen

1 Vergl. Art. *Weltsystem.*

Zeitrechnung zu verbinden, schliefst man sie an die Julianische Periode[1] an, in deren 3961stes Jahr die Erbauung Roms fällt, in das 4714te Jahr fällt der Anfang unserer Zeitrechnung, (oder wie man annimmt, die Geburt Christi) in das 5335te die Flucht Mahomeds, u. s. w. *B.*

Erdbeben.

Erderschütterung; *Terrae motus;* Tremblement de terre; *Earthquake.*

Es ist fast mehr als wahrscheinlich, dafs alle Erdbeben eine Folge vulcanischer Operationen in der Tiefe der Erdrinde sind, und daher mit den Ausbrüchen der feuerspeienden Berge im innigsten Zusammenhange stehen. Man könnte also die ganze Untersuchung derselben dorthin verweisen, wenn anders beide Erscheinungen ohne Ausnahme mit einander verbunden wären. Indem dieses aber nicht der Fall ist, und über die Ursachen der Erdbeben noch so viele Ungewifsheit obwaltet, so kann die Sache selbst hier füglich erwähnt werden, die genauere Erörterung der Frage über ihre Ursachen aber wird am zweckmäfsigsten mit der Betrachtung der vulcanischen Erscheinungen verbunden.

1. Die Erdbeben, wenn man die stärkeren sowohl als auch die geringeren Bebungen der Erdoberfläche an einzelnen Stellen mitzählt, sind ganz allgemein verbreitet, und man darf mit Gewifsheit von keiner Gegend behaupten, dafs sie dagegen vollkommen gesichert sey. Weder Sandboden noch fruchtbares Erdreich, weder Berge, primitive oder secundäre, noch auch weite Ebenen, selbst sumpfige und wenig über den Meeresspiegel erhabene Gegenden gewähren einen absoluten Schutz gegen diese zerstörenden Erscheinungen, auch ereignen sie sich eben so gut in kalten als in heifsen und gemäfsigten Erdstrichen. Inzwischen sind sie weit häufiger in der Nähe der feuerspeienden Berge und somit auch der Meeresküsten, und gehören in einigen ihnen vorzüglich ausgesetzten Gegenden eben so sehr zu den gewöhnlichen Erscheinungen, als in andern ganz eigentlich zu den Seltenheiten. Syrien, die Asiatischen Küsten und Inseln, America und die Europäischen Küstenländer am Mittelländischen Meere nebst Island sind ihnen vorzüglich unterworfen, am we-

---

1 Vergl. *Cyklus.*

nigsten dagegen die Ebenen Africa's, Asiens und des nordöstlichen Europa's.

2. Wenn man die ganze Erde berücksichtigt, so ist die Zahl der Erdbeben, jede kleine Erschütterung mitgezählt, ausnehmend groſs, und man darf mit Dreistigkeit behaupten, daſs keine Woche, vielleicht kein Tag vergeht, an welchem nicht an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine gröſsere oder geringere Bebung statt findet. Zu diesem Schlusse berechtigt die groſse Menge der in den cultivirten Gegenden beobachteten und die Erfahrung, daſs manche Districte fast unaufhörlich solchen Erschütterungen ausgesetzt sind. Indeſs ist ihre Wiederkehr sowohl an den mehr als auch den weniger von ihnen heimgesuchten Orten durchaus keiner regelmäſsigen Periode unterworfen, indem sie oft längere, oft kürzere Zwischenzeiten hindurch ausbleiben, und dann in gröſserer oder geringerer Zahl, mehr oder minder häufig und verheerend sich einstellen. Ihr Erscheinen steht daher weder mit kosmischen, noch planetarischen Gesetzen in Verbindung, ist weder an bestimmte Jahreszeiten, noch an die Stellung des Mondes gebunden, und kann eben so gut bei Tage als bei Nacht statt finden. Hiervon überzeugt man sich bald durch einige interessante Zusammenstellungen der in gewissen Jahren oder in längeren Perioden bekannt gewordenen Erdbeben, woraus allerdings zu folgen scheint, daſs sie in einigen Jahren ungleich zahlreicher sind, als in andern, wenn anders nicht solche Jahre vorzüglich reich an denselben zu seyn scheinen, in denen gerade die cultivirteren Länder von ihnen vorzugsweise heimgesucht wurden, weswegen sie dann weniger unbeachtet blieben. Aus ihrem Zusammenhange mit den Vulcanen folgt nämlich, daſs sie in unbestimmten Perioden gewisse Länderzüge vorzugsweise heimsuchen. Solche interessante Zusammenstellungen sind unter andern das durch Cotte[1] mitgetheilte Verzeichniſs von 300 Erdbeben, welche seit 1740 bis 1806 in den bekannteren Theilen der Erde beobachtet wurden, die Aufzählung von 23 der Geschichte überlieferten Erderschütterungen bloſs in der Schweiz von 563 bis

---

1 Journ. de Ph. LXV. 159. Eine chronologische Uebersicht der Erdbeben von 2312 v. Ch. G. bis 1760 n. Ch. G. findet man in Mém. de l'Acad. Étrang. IV. 488. Vergl. Histoire des anciennes revolutions du Globe terrestre. Par. 1753. 8.

1817 durch DE LUC[1] u. a. m.[2]. Diese Zahlen stehen indefs in gar keinem Verhältnifs mit der Menge von Erscheinungen dieser Art, welche von einigen Gelehrten ohne eine absichtlich genaue Forschung aus den gangbarsten Zeitschriften für einzelne Jahre gesammelt sind. Als Beispiel der Menge derer, welche aus nur wenigen Ländern auf diese Weise bekannt wurden, mag folgendes Verzeichnifs von CASSINI dienen[3]. Es waren nämlich Erdbeben im Jahre 1778 den 18ten Jan. zu Hermanstadt in Siebenbürgen, verderblich für mehrere Districte der Moldau und Wallachei, wobei der einstürzende Kirchthurm 119 Menschen erschlug; den 19ten Jan. in Livorno und Tripolis; den 18ten Febr. im Districte von Lunegiana; den 2ten Apr. in der Gegend von Manheim; den 20sten Apr. zu Palma; den 30sten zu Guastalla; den 5ten Mai zu Aleppo, den 7ten Juni zu Pau; den 16ten Juni und wiederholt am 2ten Juli zu Smyrna, wobei eine Moschee einstürzte, und eine bedeutende Menge Einwohner unter den Ruinen der Privathäuser begraben wurde. Auch am 19ten, 21sten, 22sten und 23sten desselben Monats verspürte man daselbst minder heftige Erdstöfse. Es waren ferner Erdbeben am 7ten Juli und 4ten Aug. in Granada, am 12ten Aug. aber in Forti, Romagna und Toscana. Am 1sten Oct. kehrte das Erdbeben wieder in Smyrna und mit noch gröfserer Heftigkeit am 12ten, 24sten und 30sten desselben Monats, wie auch am 1sten, 3ten, 4ten, 5ten, 7ten und 16ten November. Den 7ten Nov. war ein heftiger Erdstofs zu Alicante; den 8ten zu Warasdin; den 12ten und an den folgenden Tagen zu Granada; den 16ten zu Triest; den 18ten Nov. desgleichen den 10ten, 13ten und 19ten Dec. zu Kaschau in Ungarn; am nämlichen Tage zu Homenau, Wranow, Tavarna und Tockay. Am 31sten Dec. endlich zu Passais bei Domfort.

So zahlreich die hier mitgetheilten Fälle auch sind, so ergiebt die Uebersicht derselben doch bald, dafs sie sich nur über einen kleinen Strich des südlichen Europa's und einen geringen Theil von Asien erstreckten, wobei man es nicht anders als wahrscheinlich finden kann, dafs nicht alle in dem angegebenen Länderzuge statt gefundenen, auch unbedeutendere, Er-

---

1 Bibl. univ. XVIII. 43.

2 Vergl. Bertrand Mém. sur les tremblements de terre. 1766. 4.

3 Mém. de l'Inst. IV. 549.

schütterungen aufgezeichnet seyn mögen, und gewiſs nicht in Abrede stellen wird, daſs zu der nämlichen Zeit in andern Ländern sicher noch viele andere Erdbeben statt gefunden haben. Eben dieses gilt von der Zusammenstellung der gleich zahlreichen Erdbeben, welche in den Jahren 1821 und 22 bekannt wurden[1], so daſs hierdurch die oben aufgestellte Behauptung gewiſs genugsam gerechtfertigt erscheinen wird. Aus dem Zusammenhange der Erdbeben mit den Vulcanen folgt aber nicht minder, daſs sie in vulcanischen Gegenden nicht bloſs heftiger, sondern auch ungleich zahlreicher seyn müssen als in solchen, welche weit von diesen entfernt liegen, obgleich sie sich auch bis zu diesen letzteren erstrecken. Belege hierzu geben Island, Italien, der Asiatische Archipelagus und America.

3. Die Vorzeichen der Erdbeben könnten theils lange Zeit, theils unmittelbar vorhergehende seyn. Kries[2] verwirft alle Vorzeichen derselben, und hat hierin vollkommen Recht, sobald von solchen die Rede ist, aus denen man eine längere Zeit vorher ein bevorstehendes Erdbeben mit einigem Grade der Wahrscheinlichkeit ahnden oder muthmaſsen könnte. Ein Beweis dieser Behauptung ist ganz überflüssig, sobald man nur berücksichtigt, daſs nach allen historischen Thatsachen die Wirkungen derselben so verheerend sind, weil sie ganz unvermuthet einbrechen und ohne irgend eine Vorkehrung zur Sicherung dagegen zu verstatten. Rücksichtlich der nahe vorhergehenden Vorzeichen ist die Entscheidung schwer, indem es fraglich bleibt, ob diejenigen, welche man als solche anzugeben pflegt, nicht zu den Erscheinungen der Erdbeben selbst oder als mit ihnen verbunden zu betrachten sind. Weil aber zu den Erdbeben, strenge genommen, nur die eigentlichen Erschütterungen, Hebungen und Schwankungen des Bodens und der nahe liegenden Meere gehören, so lassen sich folgende Erscheinungen allerdings als unmittelbar vorhergehend oder sie begleitend ansehen.

1. Wegen des innigen Zusammenhanges zwischen den Erdbeben und den vulcanischen Kräften hören oft die Vulcane derjenigen Gegenden auf zu rauchen oder überhaupt thätig zu seyn,

---

1 Ann. de Chim. et Ph. XVIII. 413. XXI. 393. Vergl. Ebend. XXX. 411.

2 Von den Ursachen der Erdbeben von Fr. Kries u. s. w. Utrecht 1820. 8.

in deren auch weithin sich erstreckenden Gebieten Erderschütterungen eintreffen. So hörte v. HUMBOLDT, dafs die Rauchsäule aus dem Vulcane bei Pasto zur nämlichen Zeit aufzusteigen aufhörte, als im Jahre 1797 die Städte Riobamba, Hambato und Tacunga erschüttert wurden[1], auch fürchtet man in Neapel und Messina die Erdbeben am meisten, wenn die benachbarten Vulcane zu rauchen aufhören[2].

2. Die Brunnen und Quellen der Gegenden, denen die Erschütterungen bevorstehen, zeigen oft schon mehrere Tage vorher auffallende Veränderungen. Namentlich sinkt das Wasser in den Brunnen, so dafs die Seile verlängert werden müssen, eine dem Einziehen des Rauches in die vulcanischen Crater correspondirende Erscheinung. So sank das Wasser in der Darse[3] vor dem Erdbeben von Catanea im Jahre 1818, und in Neapel ereignete es sich oft, dafs die Eimer der Brunnen vor den Erderschütterungen das Wasser nicht mehr erreichten, eine Erscheinung, welche indefs als Folge grofser Dürre auch täuschend seyn kann. Zuweilen wird das Wasser der Brunnen brakisch und trübe, wie gleichfalls von dem Erdbeben in Catanea beobachtet wurde[4], wobei sich zugleich 14 Springbrunnen heifsen Wassers einige Minuten vor dem ersten Stofse in den Ritzen der alten Lava des Aetna bildeten, aus denen noch einige Tage nachher heifser Dampf strömte, wie denn auch schon vorher an verschiedenen Orten Wasser aus den Rissen der alten Lava drang.

3. Den Erdbeben vorausgehend, mehr aber sie begleitend ist die Erscheinung, dafs Flammen aus der Erde schlagen und in der Dunkelheit der Nacht ein gewisser leuchtender Schein die Gegend erhellet. Solche Flammen zeigen sich, den bisherigen Beobachtungen nach, indefs blofs in eigentlich vulcanischen Gegenden, steigen aber auch aus dem Meere auf, und sind nur Vorboten oder Begleiter heftiger Erderschütterungen. Man bemerkte dieselben aus den alten Lavaschichten des Aetna hervorbrechen, als 1818 Catanea verwüstet wurde[5], noch mehr sah

---

1 Voyage aux Terres équinox. cet. I. 317.

2 v. Hoff Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche II. 74.

3 S. Agatino Longo in Bibl. Ital. 1818. Sept. Bibl. univ. 1818. Nov.

4 Agatino Longo a. a. C

5 S. Agatino Longo a.

man solche Flammen aufblitzen bei dem furchtbaren Erdbeben, welches 1822 Syrien verheerte, und den Nachrichten gemäfs soll des Nachts eine Erhellung, wie vom Lichte des Vollmonds, statt gefunden haben[1]. Am bestimmtesten ist die Sache bewahrheitet durch die genaue Beobachtung, dafs beim Erdbeben in Zante 1820 etwa 3 bis 4 Minuten vor dem ersten Stofse am Vorgebirge Geraca ein über dem Wasser schwebendes feuriges Meteor 5 bis 6 Minuten lang brennend gesehen wurde[2]. Uebrigens hängt diese Sache ohne Zweifel oder mindestens muthmafslich damit zusammen, dafs bei Erdbeben die benachbarten Vulcane zuweilen einige Secunden hindurch Flammen ausspeien und die umliegende Gegend erhellen, wie dieses namentlich 1822 bei der Zerstörung von Valparaiso der Fall war, indem gleichzeitig zu Valdivia unter 39° 59′ S. B. nur ein leichter Erdstofs verspürt, und zugleich eine Erhellung der ganzen Gegend durch die Flammen der benachbarten Vulcane wahrgenommen wurde[3].

4. Als den Erschütterungen unmittelbar vorangehend, noch eigentlicher aber mit ihnen zusammenfallend ist ein eigenthümliches unterirdisches Donnern, ein Getöse wie beim Abfeuern des groben Geschützes, aber dumpfer als der Donner des Gewitters. Die Erscheinung ist so allgemein, wenigstens mit allen nur etwas stärkeren Bebungen verbunden, dafs es keiner Beispiele zum Beweise derselben bedarf, und Personen, welche mehrere Erdstöfse erlebt haben, lernen den eigenthümlichen Ton so genau kennen, dafs sie aus demselben auf das begleitende Phänomen zu schliefsen vermögen.

5. Das erwähnte Hervorbrechen von Flammen aus der Erde und dem Meere setzt das Aufsteigen brennbarer und mephitischer Gasarten voraus. Wenn man nun annimmt, dafs diese den eigentlichen Erschütterungen wohl in geringerem Grade einige Zeit vorausgehen, und dafs dieses zuweilen auch rücksichtlich des minder merkbaren unterirdischen Getöses der Fall seyn mag, so läge in beiden ein nothwendiger Grund zu einem Vorzeichen der Erdbeben, welches oft im Allgemeinen angegeben wird, ohne dafs ich dasselbe jedoch bei den Beschreibungen heftiger Erscheinungen dieser Art ausdrücklich erwähnt finde, nämlich

---

1 Frankfurter Zeitung 1822. No. 360.

2 Journ. de Phys. XCII. 455.

3 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 382.

die Unruhe und das Geheule der Thiere, sowohl der zahmen als auch der wilden. Daſs dasselbe während der Bebungen selbst und der dadurch angerichteten Verwüstungen statt finden müsse, ist wohl mehr als zu natürlich, auch wird in den Beschreibungen einiger americanischer Erdbeben, z. B. in Caracas, des Heulens der Affen und der sonstigen wilden Thiere in den umgebenden Wäldern ausdrücklich gedacht, allein in jenen furchtbaren Augenblicken haben die Beobachter zu sehr mit sich selbst und den umgebenden Menschen zu thun, als daſs sie so etwas genau bemerken sollten. Obgleich daher die Thiere bei ihren schärferen Sinneswerkzeugen und der gröſseren Nähe derselben über der Erdoberfläche wegen des Riechens mephitischer Gasarten und des Wahrnehmens vorangehenden Donnerns füglich eine Vorempfindung bevorstehender Erdbeben haben, und diese auf gewisse Weise ausdrücken könnten, so kann doch hierin weder ein allgemeines noch auch ein sicheres Vorzeichen gegeben seyn, weil sonst die gefürchteten Erdstöſse nicht so unerwartet und überraschend eintreffen könnten, als selbst in den oft heimgesuchten Gegenden wirklich geschieht.

Einen Zusammenhang der Erdbeben mit atmosphärischen Veränderungen verwirft Kries[1] gänzlich, und mit vollem Rechte. Dagegen behaupteten viele, z. B. Richard, Bertrand, Cotte, u. a. früher einen bedeutenden Einfluſs derselben auf die Witterung[2]. Allerdings sehen viele, welche der Sache weniger kundig sind, ungewöhnlich tiefe Barometerstände, heftige Stürme, Wintergewitter mit auffallend lauer und milder Witterung als Vorboten und Zeichen naher oder entfernter Erdbeben an, ohne daſs jedoch die Erfahrung dieses bestätigt, vielmehr hat Gronau durch Zusammenstellung der während 119 Jahren gemachten Erfahrungen gezeigt, daſs Erdbeben und vulcanische Ausbrüche weder auf das Barometer noch auf die Witterung irgend einen Einfluſs äuſsern[3]. Einige meinen, daſs die Erderschütterungen gewöhnlich auf sehr nasse Jahre folgen, allein namentlich folgten die ziemlich weit und allgemein in Deutschland[4], einer sonst selten davon heimgesuchten Gegend, im No-

1 a. a. O.
2 J. de Ph. LXV. 164.
3 Magaz. d. Ges. Nat. Freunde III. 249.
4 Ann. de Chim. et. Phys. XXI. 393.

vember 1822 beobachteten vielmehr auf einen sehr trocken Sommer, und vor dem schrecklichen Erdbeben in Caracas 1812 war auf 90 Lieues in die Runde seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen. Eben so unrichtig ist es endlich, das häufige Sternschnuppen, Feuerkugeln und andere leuchtende Meteore, eine heiſse, drückende und das Sonnenlicht rothfärbende Luft mit dicken und schwarzen Wolken ihnen vorausgehen sollen[1].

Wenn man berücksichtigt, wie zahlreich die Erdbeben sind, über wie weit ausgedehnte Gegenden sie sich zuweilen erstrecken und wie oft, bei den gröſseren, einzelne Stöſse auch nach längeren Zwischenzeiten wiederkehren, so kann es nicht fehlen, daſs sie mit den verschiedensten Zuständen der Witterung und mit den mannigfaltigsten meteorischen Erscheinungen verbunden seyn müssen, weswegen es nicht schwer fallen kann, für eine jede der genannten Behauptungen eine oder mehrere Erfahrungen beizubringen, worunter einige allerdings etwas sehr Ueberraschendes haben. Dahin gehört namentlich das heftige Erdbeben zu Zante am 29sten Dec. 1820. Schon einige Tage vorher fiel eine ungewöhnliche Wärme auf, noch mehr aber der früh Morgens ausbrechende heftige Sturm, auf welchen plötzlich eine überraschende Windstille folgte. Der Sturm erhob sich nach dem Erdstoſse wieder und ging zum Orkane über, welcher mit Platzregen und starkem Hagel begleitet war. In der nächstfolgenden Nacht verursachte der anhaltende Platzregen eine bedeutende Ueberschwemmung, auch dauerte der entstandene SO. Wind noch bis 25 Tage nachher mit einer eintretenden schneidenden Kälte[2]. Man übersieht aber bald, daſs hierbei zwei ganz heterogene Erscheinungen zufällig zusammentrafen, deren jede auf die gewöhnliche Weise verlief, ohne daſs ein Causalnexus zwischen beiden anzunehmen ist; auch erfolgte am 6ten Jan. des folgenden Jahres ein wiederholter, gleichfalls ziemlich heftiger, Erdstoſs ohne irgend eine Veränderung der herrschenden Witterung. Etwas Auffallendes konnte es allerdings haben, daſs auch das im folgenden Jahre hauptsächlich am 17ten Nov. in Jassy, Dubossary und einem Theile der Moldau nach öffentlichen Blättern beobachtete nicht unbedeutende

---

1 Gehler a. A. II. S.

2 Journ. de Phys. XCII. 465. Ann. de Ch. et Ph. XV. 422. XVIII. 417.

Erdbeben von heftigen Stürmen und Regen begleitet war, und überhaupt die zahlreichen Erderschütterungen dieses Jahres 1821 mit einer im Ganzen regnerischen Witterung zusammenfielen[1]. Endlich wird auch bei den Beschreibungen der schrecklichen Stürme, der Hurrikanes und Tornado's, welche mit furchtbaren Ueberschwemmungen verbunden namentlich die tropischen Inseln und Küstenländer verheeren, häufig von begleitenden Erdbeben geredet, allein dieses geschieht meistens nur von Unkundigen, welche bei jeder Erschütterung ihrer Wohnungen durch Sturm oder Fluthen, eben wie in unseren Gegenden, sogleich Erdbeben vermuthen, und dann aus begreiflichen Gründen auch wahrzunehmen glauben[2]. Fände wirklich ein Causalnexus statt zwischen den genannten meteorologischen Erscheinungen und den Erdbeben, so müſsten beide sich vorzüglich dann vereinigt zeigen, wenn die letzteren in ihrer furchtbarsten Gestalt hervortreten, wovon aber häufig gerade das Gegentheil beobachtet ist. So stand namentlich bei dem erwähnten Erdbeben in Caracas der ruhige, völlig wolkenlose und heitere Himmel im grellen Contraste mit den Verwüstungen auf der Erde und dem Jammergeschrei der Verunglückten; bei der Zerstörung von Catanea war das Wetter schön, und einige leichte Wolken, welche sich während desselben gebildet hatten, verschwanden bald wieder. endlich war im Sommer 1822 während der ganzen Dauer der wiederholten furchtbaren Erdstöſse, welche Syrien verheerten, das Wetter mehr als gewöhnlich warm und heiter, ohne irgend ein ausgezeichnetes meteorologisches Phänomen. Allerdings wird auch erwähnt[3], daſs nach dem Erdbeben in Valparaiso am 19ten Nov. 1822 es dort regnete, was sonst im November daselbst nie beobachtet ist. Diese Erscheinung würde aber, wenn sie nicht zufällig war, mehr den gleichzeitigen vulcanischen Ausbrüchen, in Folge der dadurch gebildeten Wasserdämpfe, als dem eigentlichen Erdbeben beizumessen seyn.

---

1 Ann. Ch. et Ph. XVIII. 413. XXI. 393.

2 Bei der Ueberschwemmung verschiedener deutscher Provinzen im October und November 1824 wurden von mehreren Seiten her beobachtete Erdbeben angegeben, deren keins bestätigt ist. Von welcher Art die Beobachtungen waren, läſst sich unter andern daraus abnehmen, daſs jemand angab, sein Haus sey durch ein Erdbeben erschüttert, wenn der Stoſs nicht durch einen Baum in den Fluthen verursacht wäre.

3 Ann. Ch. et Ph. XXVII. 382.

Die Ursache, weswegen man sehr allgemein bei heftigen Stürmen und Regengüssen, so wie diesen vorausgehenden ungewöhnlich tiefen Barometerständen auf nahe oder entfernte Erdbeben schliefst, liegt wahrscheinlich in dem tiefen Eindrucke, welchen diese nicht lange nach einander folgenden Erscheinungen in dem merkmürdigen Jahre 1755 hinterlassen haben. Es soll nämlich[1] am 14ten Oct. zu Locarno in der Alpenkette früh um 8 Uhr ein warmer Dampf aufgestiegen seyn, welcher sich binnen zwei Stunden in einen röthlichen Nebel verwandelte, und als es gegen Abend regnete, fiel zugleich eine blutrothe Substanz nieder, welche sich in dem aufgefangenen Wasser als röthliche, leimige Masse zu Boden senkte. Dieser Purpurregen soll in einer Ausdehnung von 20 deutschen Meilen, selbst bis Schwaben hin, beobachtet seyn. Es folgten dann 14 Tage anhaltende heftige Regengüsse, wodurch die Flüsse in der Lombardei, die in den Alpen entspringen, und die Rhone anschwollen und austraten, auch tobten an jenen Orten heftige Orkane. Diese nasse und stürmische Witterung dauerte fort, auch fiel in der Mitte des Novembers, also später als das Lissaboner Erdbeben vom 1sten dieses Monates, nochmals in Ulm solcher röthlicher Regen. — Nehmen wir diesen Begebenheiten das Schreckhafte, welches sich aus dem darauf folgenden zerstörenden Naturphänomene so leicht in unsere Vorstellung einschleicht, so kommen sie auf zwei einfache Erscheinungen zurück, nämlich einen Regen mit rothen erdigen Stoffen vermengt, wie später noch einigemale ohne Erdbeben beobachtet sind, und eine Ueberschwemmung der Lombardischen Flüsse, durch südliche feuchte Luftströmungen veranlafst, welche noch weniger selten sind, mit den Erdbeben aber in keiner Verbindung stehen, das Zusammentreffen der nassen Witterung mit diesem war also eben so zufällig, als das der grofsen Dürre mit jenem von Caracas; wir würden aber die Erklärung dieser Phänomene unmöglich machen, wenn wir sie in Causalnexus bringen wollten.

IV. Die wesentlichen Erscheinungen der Erdbeben sind zwar an sich sehr einfach, aber nichts desto weniger sowohl rücksichtlich der Ursachen als auch der Wirkungen höchst räth-

1 S. Im. Kant Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle d. Erdbebens, welches am Ende des 1755sten Jahres einen grofsen Theil d. Erde erschüttert hat. Königsb. 1756. 4.

selhaft und schwierig zu erklären. In der Hauptsache bestehen sie nämlich aus Bebungen und Erschütterungen der Erdrinde, welche über gröſsere oder kleinere Strecken ausgedehnt mehr oder minder heftig sind, in der Regel eine gewisse Richtung befolgen, in welcher sie zugleich fortzuschreiten scheinen, und sich meistens zuerst als senkrechte Hebungen, dann als horizontale Schwankungen und bei sehr groſser Heftigkeit in einigen Fällen auch als rotatorische Schwingungen zeigen[1]. Nimmt man hierzu die heftigen Bewegungen des Meeres, verbunden mit einem oft unglaublichen Steigen und Fallen desselben, so sind damit die gesammten Erscheinungen an sich zwar gegeben, allein es ist zugleich kaum begreiflich, wie es möglich sey, daſs eine durch unterirdische Ursachen erzeugte Erschütterung der festen, an den Erdball gebundenen Rinde solche zerstörende Bebungen hervorbringen könne. Ich werde daher die wichtigsten Erscheinungen, welche nach unzweifelhaften Beobachtungen auf dem Lande statt finden, zuerst im Allgemeinen angeben, dann die Schwankungen des Meeres gleichfalls beschreiben, und endlich eine Uebersicht der bekanntesten Erdbeben in den verschiedenen Gegenden der Erde hinzufügen.

1. Die leichteren Erdstöſse, aus lothrechten Hebungen und horizontalen Schwankungen bestehend, erzeugen meistens ein Krachen in den Häusern als Folge einer Bewegung der Balken in ihren Fugen, ein Klirren der Gläser, Rütteln der Tassen, Urnen und sonstiger leicht beweglicher Sachen auf und in den Schränken, auf Comoden, Tischen und Gesimsen, ein Verschieben der Betten und Meubeln, Läuten der Glocken, Schwanken der Waagebalken u. dgl. m. Personen, welche die Erscheinung nicht kennen, oder aus dem begleitenden donnerähnlichen, unterirdischen Getöse nicht als solche entnehmen, fühlen sich unstät im Stehen, insbesondere aber auf ihren Sitzen, und glauben sich von einem plötzlichen Schwindel ergriffen. Sind die Erschütterungen heftiger bis zu den heftigsten, dann sind sie allerdings auch für den Unkundigen kenntlich genug. Dann stürzen die Schornsteine herab, Häuser und Mauern zerreiſsen und bersten, die schwersten und massivsten Gebäude werden zertrümmert, und begraben die Bewohner unter ihren Ruinen, während die leichten nur Risse bekommen und ganz leichte Rohr-

1 Moto vorticoso der Neapolitaner. S. v. Hoff a. a. O. II. 71.

hütten dem Verderben am wenigsten unterliegen. In einigen Fällen ist das Zerbrechen und gleichsam Zerriebenwerden der stärksten Steine über alle Vorstellung hinausgehend. Hierbei ist aus leicht begreiflichen Gründen der Aufenthalt in den Häusern und überhaupt in den bewohnten Orten am gefährlichsten, allein auch Felder und Berge gewähren keine vollkommene Sicherheit, indem die ersteren an einigen Stellen bersten, zuweilen stückweise herausgerissen und fortgeschleudert werden, die letzteren aber nicht selten in die Tiefe herabgleiten, Flüsse abdämmen und hierdurch Ueberschwemmungen anrichten.

Wenn schon die durch diese Bebungen angerichteten Verheerungen alle Vorstellung übersteigen, so ist dieses noch mehr der Fall bei den rotatorischen Erschütterungen, deren Möglichkeit man zu bezweifeln geneigt seyn müſste, wenn nicht die Thatsachen über allen Zweifel erhoben wären, obgleich sie unter die seltenern oder mindestens die nicht häufig beobachteten gehören. Agatino Longo erwähnt[1], daſs bei dem Erdbeben zu Catanea, dessen Richtung im Allgemeinen von SO. nach NW. ging, mehrere Statüen gedrehet wurden, und namentlich fand man die Richtung einer groſsen Steinmasse um 25° von O. nach S. verändert. Noch auffallender aber ward diese rotatorische Bewegung bei dem Erdbeben zu Valparaiso am 19ten Nov. 1822 beobachtet, indem mehrere Häuser umgedrehet, drei Palmen aber wie Weiden um einander gewunden wurden[2].

Nur die geringeren Erdbeben gehen mit einem einzigen Stoſse vorüber; bei den meisten erfolgen in kurzen Zwischenräumen mehrere, und meistens so viel zahlreichere, je heftiger die Erschütterung überhaupt ist. Von den Stöſsen ist der erste, eben so oft aber, wo nicht noch öfter, der zweite der stärkste. Auſserdem aber werden die Erschütterungen auch nach längeren Zwischenräumen wiederholt, wie denn die Erdbeben in Syrien zuweilen mehrere Monate hindurch mit kürzeren oder längeren Pausen fortdauern. In der Regel aber ist die erste Katastrophe die gewaltsamste und zerstörendste.

2. Wie bedeutend groſs die Strecken sind, welche durch die Erdbeben in eigentliche Schwankungen gesetzt werden, dieses ersieht man hauptsächlich aus den Flutungen des Meeres.

---

1 Bibl. univ. 1818. Nov.

2 Ann. Ch. et Ph. XXVII. 382.

Am ausgezeichnetsten war in dieser Hinsicht das Erdbeben von *Lissabon* im Jahre 1755, überhaupt für Europa das stärkste, welches diesen Erdtheil jemals heimgesucht hat. Der Ocean überschwemmte dabei die Küsten von Schweden, England und Spanien; in America die Inseln Antigua, Barbados und Martinique. In Barbados erhob sich die Fluth, welche sonst nur 24 bis 28 Z. steigt, zu 20 F. in der Bai von Carlisle, und das Wasser erschien schwarz wie Tinte, wahrscheinlich von dem Erdpech, welches aus dem Meeresboden empor gestoſsen wurde[1]. Schon am ersten Nov. als die Erschütterung am stärksten war, zog sich das Wasser bei Guadaloupe zweimal zurück, und stieg bei der Rückkehr im Canal der Insel 10 bis 12 F. hoch. Aehnliche Erscheinungen zeigten sich bei Martinique. In Cadix überschwemmte eine 60 F. hohe Meereswelle einen Theil der Stadt, und sogar in den Schweizerseen, namentlich dem Genfer, verspürte man die Bewegungen 6 Stunden nach dem ersten Stoſse[2]. Merkwürdig aber ist, daſs im See Ontario die Bewegungen schon im October 1755 verspürt wurden[3]. Beim Erdbeben von Lima 1586 stieg eine Meereswelle im Hafen von Callao 84 F. hoch, im J. 1746 aber wurden eben daselbst 23 Schiffe versenkt. Als 1693 *Syrakus* durch ein Erdbeben zerstört wurde, wich das Meer so plötzlich zurück, daſs viele Fische auf dem trocknen Grunde zurückblieben, kehrte aber bald mit solcher Heftigkeit zurück, daſs es in die Stadt und Citadelle trat, und dort nachher eine Menge Fische zurückließs. Bei dem Erdbeben in *Calabrien* 1783 trat nicht bloſs das Meer über seine Ufer, und verschlang eine Menge Menschen, sondern es wurde überhaupt in einem solchen Grade erschüttert, daſs die Kanonen auf den Schiffen einige Zolle in die Höhe sprangen[4].

4. Auſser den erwähnten allgemeinen Wirkungen der Erdbeben giebt es noch einzelne, welche nicht unmittelbar aus den Erschütterungen folgen, und daher sich seltener ereignen. Hierhin gehört das schon erwähnte Herabgleiten ganzer Theile von

1 Ueber die starken Flutungen bei Lissabon selbst s. *Ebbe* No. 32.

2 Phil. Tr. XLIX. 403. LII. 424. Daſs selbst im nördlichen Deutschlande mäſsig groſse Teiche in merkliche Schwankungen geriethen, weiſs ich von Augenzeugen.

3 V. Humboldt Reis. d. Ueb. I. 497.

4 S. Torcia's Beschreibung.

Bergen wie z. B. bei Dobratsch[1] im Jahre 1345, das Zusammenstürzen zweier Berge auf Jamaica 1692, wodurch ein Flußbette zugedämmt wurde. Eben daselbst glitt ein Theil eines Berges herab und bedeckte mehrere Plantagen, die Stadt Portroyal sank acht Lachter tief ein, und eine Fläche von 1000 Morgen Landes mit allen darauf befindlichen Gebäuden stürzte zusammen. Auf der Insel Trinidad sanken 1766 mehrere Berge bedeutend herab, und auf Mindanao soll 1640 der Gipfel eines Berges über eine deutsche Meile fortgeschleudert seyn, welches indeſs kaum möglich ist. Daſs übrigens durch so heftige Erschütterungen Spalten in der Erdrinde entstehen und Quellen sich in diese verlieren, daſs intermittirende Brunnen perennirend werden, Flüsse ihren Lauf verändern und eben so verstopfte Quellen an andern Orten wieder hervorbrechen können, liegt eben so sehr in der Natur der Sache, als es durch die Erfahrung bestätigt wird. Ein eigentliches Entstehen neuer Quellen finde ich bloſs als kurze Zeit dauernd und aus den Ritzen alter Lava hervorbrechend erwähnt; daſs aber bedeutende Ueberschwemmungen als Folge des aus der Erde gedrungenen Wassers durch Erdbeben veranlaſst werden sollten, wie dieses mehrfach von der am Ende des Jahres 1824 über einen groſsen Theil von Deutschland verbreiteten behauptet wurde, streitet nicht bloſs gegen die Erfahrung, sondern auch gegen die Gesetze der Mechanik[2]. Groſse und bleibende Veränderungen der Erdoberfläche, namentlich das Versinken und Entstehen von Inseln und Küsten gehört nicht sowohl eigentlich den Bebungen der Erdrinde, als vielmehr den vulcanischen, mit diesen verbundenen Operationen an.

Die einzelnen Stöſse folgen oft sehr schnell, oft nach gröſseren oder geringeren Zeitintervallen auf einander; sie sind mitunter einzeln, nicht selten zahlreich, und in vulcanischen Gebieten dauern die abwechselnden Erschütterungen zuweilen Monate und selbst Jahre lang, worauf dann wieder kürzere, längere und sogar Decennien und Jahrhunderte dauernde Zwischenräume folgen. Merkwürdig ist in dieser Hinsicht, daſs Syrien

---

1 S. Reise durch einige Theile vom mittägl. Deutschland. 1798. S. 63.

2 S. Schübler's und meine Abhandlungen in Poggendorf's Journ. III. 129 u. 145.

seit dem Erdbeben, welches 1204 Antiochien, Damascus und Tripolis zugleich erschütterte, bis in die zweite Hälfte des 17ten Jahrhunderts verschont blieb, obgleich fast keine Gegend der Erde durch diese zerstörenden Naturerscheinungen mehr leidet, als gerade jene. Die eigentliche Dauer eines einzelnen Stofses, einer einzelnen Bebung endlich ist schwer zu bestimmen. Im Allgemeinen ist ihre Dauer unzweifelhaft kurz, und beschränkt sich bei den geringeren, von ruhigern und daher mit gröfserer Aufmerksamkeit beobachtenden Zeugen wahrgenommenen, auf nur wenige Secunden. Bei den gröfseren, z. B. in Lima, Caracas, Calabrien, Catanea, Zante, Antiochien u. s. w. wird die Zeit zu 50 Sec. bis 1,5 Min. oder unbestimmt zu wenigen Minuten, wenigen Augenblicken angegeben. Wenn man berücksichtigt, dafs sogleich bei der ersten Wahrnehmung die Aufmerksamkeit ausnehmend gespannt ist, die Zeitdauer der Erscheinung dann aber nicht vermittelst einer Uhr gemessen, sondern nach Gutdünken geschätzt wird, unter solchen Verhältnissen aber die Zeit ungleich länger angegeben zu werden pflegt, als sie wirklich ist, so läfst sich mit hoher Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs die Dauer einer einzelnen Erschütterung wenige Secunden, ich möchte sagen höchstens eine halbe Minute sicher nicht übersteigt.

Hiermit sind die hauptsächlichsten Bewegungen des Meeres zugleich mit angegeben, welche im Allgemeinen in plötzlichen Erhebungen desselben, Ueberströmungen über die Küsten, Senkungen, und Erschütterungen bestehen. Die Schiffe gerathen dabei selbst in bedeutender Entfernung vom Lande in eine solche zitternde Bewegung, als wenn sie über einer Menge von Klippen hinführen. Dieses war der Fall bei dem Erdbeben zu Lissabon von 1816 bis auf 160 ja sogar bis auf 270 Seemeilen von der Küste. Zugleich hören die Schiffe ein unter ihnen scheinbar befindliches Krachen, welches in Verbindung mit der gleichzeitigen Bebung die Schiffer glauben macht, das Fahrzeug habe einen bedeutenden Stofs und Leck erhalten[1].

V. Eine vollständige Aufzählung aller bekannter Erdbeben könnte blofs durch das Auffallende der Menge dieser Erscheinungen Interesse erregen, übrigens aber nicht anders als ermüdend seyn. Hier würde eine solche ohnehin nicht am rechten

1 Edinb. Journ. of Sc. VII. 71. Vergl. VIII. 264.

Orte stehen, und es wird daher genügen, nur eine allgemeine Uebersicht der vorzüglichsten mitzutheilen, um daraus einen ohngefähren Begriff ihrer verhältnissmässigen Menge in den verschiedenen Erdtheilen und der Gesammtheit der dazu gehörigen Erscheinungen zu erhalten.

In *Europa* ist keine Gegend mehr durch Erdbeben heimgesucht, als Italien mit den umliegenden Inseln. Das erste, welches daselbst am meisten Aufsehen machte, war das vom Jahre 63 n. Ch., wobei Herculaneum und Pompeji, die nachher im J. 79 durch die Asche und Lave des Vesuv's überschütteten Städte, untergingen[1]. Seitdem sind sie sowohl dort, als auch besonders in Sicilien häufig wiedergekehrt, bis zum 12ten Jahrhunderte jedoch ungleich seltener, als von da an bis auf die neuesten Zeiten, namentlich im 18ten und 19ten Jahrhunderte[2]. Unter allen diesen möge nur eins der jüngsten in Calabrien und eins in Sicilien näher beschrieben werden.

Das Erdbeben, wodurch Calabrien und die Stadt Messina zerstört wurden, wüthete vom 5ten Febr. bis 28sten März 1783 in ungleichen Perioden. Nach Torcia[3] war der Hauptsitz desselben das Städtchen Oppido in der Nähe des Aspramonte, einer mit Schnee bedeckten Spitze der Appenninen. Von hieraus verbreitete es sich auf 5 deutsche Meilen in die Runde, also über eine Fläche von 80 Quadratmeilen, schien vom Aetna auszugehen und unter dem Meere hin fortgepflanzt zu werden, welches um so auffallender ist, da diese ganze Gegend aus Urgebirgen besteht. Man vernahm wiederholt ein von SW. herkommendes, donnerähnliches Getöse, welchem die Erschütterungen folgten, wodurch ganze Strecken der Gegend von der granitischen Unterlage herabglitten. Bei Scylla stürzte ein grosser Theil des Berges ins Meer, die zurückgedrängten Fluthen kehrten mit Un-

1 Senec. Quaest. Nat. VI. 1.

2 S. v. Hoff a. a. O. II. 180 ff.

3 Kurze Beschreibung des Erdbebens, welches Messina und einen Theil Calabriens betroffen. Aus d. Ital. d. H. Torcia. Nürnb. 1783. Vergl. Dolomieu Mém. sur le tremblement de terre cet. Rome 1784. W. Hamilton in Phil. Trans. LXXIII. I. 169. deutsch. Nachricht von dem letzten Erdbeben in Calabrien u. Sicilien u. s. w. a. d. F. von G. F. Wehrs. Hann. 4. Andere Uebers. Wittenb. 1783. Giov. Vivenzio Istoria e teoria de' tremuoti ed in particulare di quelli della Calabria e di Messina di 1783. Napoli 1783. 4.

gestüm zurück, und rissen 1450 Menschen mit sich fort. Gegen 400 Städte und Dörfer wurden zerstört, mehr als 100 Berge glitten herab, stürzten zusammen, dämmten Flüsse zu, bildeten Seen, und überhaupt wurde die Gegend so verändert, dafs man sie kaum wieder erkannte. Im Ganzen sollen an 100,000 Menschen dabei umgekommen und beschädigt seyn, und von manchen Familien fanden sich kaum einige entfernte Verwandte als Erben. Oppido war geborsten, Terranuova löste sich vom Hügel ab und sank in den Muro, über den Ortschaften erhoben sich beim Einstürzen dicke Staubwolken und in manchen blieb kein Stein auf dem andern. Als sonderbare Ereignisse erzählt Graf Stolberg[1], dafs ein Mann, eine Frau und ein Esel zusammt dem Boden, worauf sie gingen, aufgehoben, und über einen Flufs geworfen wurden. Ein anderer Mann safs auf einem Citronenbaume, während dieser mit dem Erdreich aufgehoben und eine Strecke fortgeschleudert wurde, wo er dann wieder festwuchs.

Das heftigste Erdbeben in Sicilien seit dem von 1693, wodurch gegen 50 Ortschaften zerstört wurden, und nahe an 100,000 Menschen umkamen[2], war das am 20sten Febr. 1818, welches insbesondere die Stadt Catanea mit ihrer Umgegend traf[3]. Als Vorzeichen wollen die Molluskenfischer bemerkt haben, dafs sie durch die Wellen gleichsam vom Ufer zurückgestofsen wurden, auch soll das Wasser dort warm gewesen seyn. Glücklicherweise erfolgte der Hauptstofs am Tage, als die wenigsten Menschen in den Häusern waren. Die Richtung der Erschütterung war von SO. nach NW. und man konnte deutlich die aufwärts gerichtete, die horizontale Bewegung und die Wirkungen einer eigentlichen Drehung wahrnehmen. Aufser den gewöhnlichen Zerstörungen wurden mehrere Kreuze auf den Gipfeln der Kirchen gebogen, welches man von Blitzen ableiten wollte. Merkwürdig aber ist, dafs einige Mauern für einen Augenblick so zerrissen wurden, dafs man den Mond durchscheinen sah, dennoch aber fielen sie so genau wieder zusammen, dafs man kaum den Rifs bemerkte. Zu Catanea, Mascalucia,

---

1 Reisen III. 249.

2 S. T. Bergmann physik. Beschreib. d. Erdkugel. II. §. 150.

3 S. Agatino Longo memoria storico-fisico, sul tremuoto. in Bibl. Ital. Set. 1818. Bibl. univ. 1818. Nov.

Nicolosi, Trecastagne, Vigrande, Aci-Catane, Zafarana u. a. a. O. wurden eine Menge Gebäude gänzlich zerstört oder bedeutend beschädigt.

Unter die schrecklichsten, hauptsächlich aber die am weitesten verbreiteten Erdbeben gehört das zu Lissabon vom 1sten Nov. 1755, auf welches ein minder heftiges am 31sten März 1761 folgte[1]. Ein Theil der Stadt versank im Meere, ein anderer wurde von den Fluthen des Taio überschwemmt, und die Zahl der dabei umgekommenen Menschen wird auf 30000 angegeben. Am meisten Aufsehen erregte dieses Erdbeben durch den unglaublich grofsen Umfang, in welchem gleichzeitig geringere Erdstöfse verspürt wurden. Sie verbreiteten sich nämlich von Grönland und Island aus über Norwegen, Schweden, Deutschland, die Schweiz, Frankreich, Spanien, Marocco, Salee, Fez, Tetuan, selbst bis zu den Antillen und zum See Ontario. Auf den ersten heftigen Stofs in Lissabon folgten abwechselnd noch mehrere nach ungleichen Zwischenzeiten in verschiedenen Gegenden Europa's, am 9ten Dec. aber noch ein heftiger zu Lissabon und ebendaselbst abermals am 27sten desselben Monats, und zu gleicher Zeit wurde eine merkwürdige Erschütterung wahrgenommen, deren Richtung auf die frühere fast genau perpendiculär war. Sie lief nämlich durch das Rheinthal vom Elsafs und Lothringen nach Cöln, und von dort auf der einen Seite westwärts durch Brabant bis zur Picardie, und ostwärts durch Cleve bis nach Westphalen.

Die Erdbeben in den meisten übrigen Theilen von Europa sind minder bedeutend und keiner besondern Erwähnung werth. In der Schweiz sollen sie vom 11ten bis zum 15ten Jahrhundert häufiger und stärker gewesen seyn[2], in Deutschland, Polen, Rufsland, Skandinavien und Grofsbrittannien gehören sie unter die Seltenheiten, und richten kaum merklichen Schaden an. Mehr unterworfen sind ihnen die südlichen Küstenländer von Spanien und Frankreich, wie sich zuletzt noch 1822 gezeigt

1 Unter den vielen Nachrichten darüber s. Hollmann de terrae motibus cet. in Sylloge Comment. Gott. p. 1. Berwicke in Phil. Trans. XLIX. 424. Antonio Ulloa ebend. 427. Michell ebend. LI. 566. Vergl. v. Humboldt Voyages cet. I. 316. v. Hoff a. a. O. II. 213 und 271.

2 S. Mayer Bemerkungen auf einer Reise durch Thüringen, Franken u. s. w. Berlin 1818. Bd. I.

hat[1]. Durchaus vulcanisch, und eben daher von Erdbeben oft heimgesucht, ist *Island*, jedoch sind jene ganz den vulcanischen Wirkungen zugehörig. Als ein Beweis ihrer Bedeutsamkeit mag daher bloſs die Erwähnung dienen, daſs im Jahre 1784 auf einmal bloſs im Syssel Arneſs 372 Maierhöfe beschädigt, und zwar 69 derselben ganz umgestürzt und 64 unbewohnbar gemacht wurden. Auf der ganzen Insel wurden 1409 Häuser mehr oder minder zerstört[2].

Dalmatien, Ungarn, die Moldau und Wallachei, die Europäische Türkei und Griechenland sind allerdings häufigern und heftigern Katastrophen dieser Art ausgesetzt. Als Beispiel möge dasjenige angeführt werden, wodurch am 29sten Dec. 1820 *Zante* zerstört wurde. Schon im Anfange der Nacht hörte man ein unterirdisches Getöse, wie einzelne Schläge auf eine Trommel. Plötzlich folgte die Erschütterung, welche im Ganzen etwa 30 Sec. dauerte, zuerst in die Höhe gehend, dann horizontal schwankend und endlich gleichfalls rotatorisch. Es wurden hierdurch 80 Häuser ganz zusammengeworfen, 800 stark beschädigt und alle übrigen in einem geringeren Grade. Am 6ten Januar des folgenden Jahres kam abermals ein merklicher Erdstoſs, aber ungleich geringer als der vorige. Merkwürdig war allerdings, daſs nur 4 Menschen dabei ums Leben kamen, weit mehr aber beschädigt wurden. Am nämlichen 29sten Dec., aber schon früh Morgens, war ein heftiges Erdbeben an der Südküste der Insel Celebes[3].

So schrecklich auch einige der Europäischen Erdeben waren, so stehen sie doch in keiner Vergleichung mit denen, wodurch manche Gegenden von *Asien* verheert wurden. Uebergeht man hierbei diejenigen, welche auf den Inseln, dem östlichen Continente und in den Umgebungen des Caspischen Meeres beobachtet wurden, so zieht insbesondere *Syrien* wegen der oft erlittenen Verheerungen die Aufmerksamkeit auf sich[4]. Unter die stärksten gehört das vom Jahre 17 n. Ch. G. wodurch 13 groſse Städte in einer Nacht zerstört wurden[5], ein anderes vom

---

1 Ann. Ch. Ph. XXI. 398.

2 Island. Von Ebenezer Henderson. II. 243.

3 Journ. de Ph. XCII. 465. Ann. Ch. P. XV. 422. XVIII. 417.

4 S. die Erdkunde von C. Ritter. Berlin 1818. II. 333.

5 Plin. H. N. II. 84.

Jahre 315, wodurch Areopolis unterging[1], und die schrecklichsten von allen unter der Regierung Justinian's[2]. Im Jahre 526 wurden in den Städten am Orontes, hauptsächlich in Antiochien, 200000 Menschen erschlagen, i. J. 551 wurden Barytus, Sidon und viele andere Städte vernichtet, das mittelländische Meer trat an einigen Stellen aus seinen Ufern. Im J. 1169 dauerten die einzelnen Erschütterungen gegen vier Monate und wieder 1202 zerstörte ein neues Erdbeben eine Menge Städte, verschüttete ganze Thäler des Libanon, und zertrümmerte die Ortschaften des Basaltzuges von Hauran, so daſs man nach dem Ausdrucke jener Zeit nicht mehr sagen konnte: hier stehe diese oder jene Stadt. Nach einiger Ruhe und minder verheerenden Katastrophen war 1759 wieder eins der furchtbarsten Erdbeben, welches 6 Wochen anhielt, und bei dessen erstem Stoſse die Städte Antiochien, Balbeck, Sayd, Acre, Fussa, Saphet, Nazareth und Tripolis in Trümmern gelegt und 30000 Menschen erschlagen wurden[3]. Wohl noch anhaltender und verheerender war das neueste Erdbeben von 1822, wobei namentlich am 13ten Aug. in einer schrecklichen Nacht Aleppo, Antiochien, Dschollib, Biha, Gisser, Schogr, Derkusch, Armenas, ja sogar jedes einzelne Dorf und jede einzelne Hütte innerhalb des Paschaliks von Aleppo binnen 10 bis 12 Sec. gänzlich zernichtet und in einen Schutthaufen verwandelt wurden. Wenigstens 20000 Menschen verloren dabei das Leben und noch mehrere wurden verstümmelt, eine bei der gesunkenen Bevölkerung jener Gegend sehr bedeutende Zahl. Die äuſsersten Grenzpuncte, wo die Erschütterung stark genug war, um Häuser umzustürzen, waren Diarbekr und Merkab, Haleb und Skanderum, Killis und Khan-Schekum. Aber die Bebungen wurden bis Damascus, Cypern und Adana, auf offener See bis zwei Meilen von Cypern verspürt[4].

Africa ist an sich höchst unbekannt, und so kennt man auch keine Erdbeben seines innern Continentes, wo sie übrigens auch wahrscheinlich weder häufig noch bedeutend sind. Die

---

1 Hieronymus Com. in Jos. c. 15.

2 S. Gibbon Hist. VII. a. E.

3 Ritter a. a. O.

4 Frankf. Zeit. 1822. No. 360. Sehr ausführlich über die Erdbeben in Syrien ist v. Hoff a. a. O. II. 136 ff.

Südspitze dieses Welttheils wird nur selten durch geringe Erschütterungen heimgesucht, weit häufiger und stärker die Nordküste, wo noch 1825 im März Algier und Blida nicht unbedeutend litten. Im Ganzen aber sind auch diese zu unwichtig, um hier besonders erwähnt zu werden.

Dagegen steht *America*, insbesondere der südliche Theil desselben, keinem Erdtheile an Gröſse, Zahl und Dauer der Erdbeben nach. Bei der Menge der dort überall verbreiteten Vulcane stehen sie aber mit den Wirkungen dieser meistens in so nahem Zusammenhange, daſs beide nicht füglich getrennt werden können, und ich erwähne daher hier nur einige der hauptsächlichsten. Dahin gehört vorzüglich das von 1746, wodurch binnen drei Minuten *Lima* gröſstentheils zerstört, *Callao* überschwemmt wurde, und von 4000 Menschen nur 200 entkamen. Die heftigen Schwankungen des Meeres und der Untergang von 23 Schiffen ist schon oben erwähnt. Eine minder starke Katastrophe hatte die nämliche Gegend schon 1586 erduldet. Nicht minder schrecklich war die Zerstörung von Neu-Andalusien im Jahre 1766 am 21sten Oct., wobei die Bebungen sich über Cumana, Caracas, Maracaibo, die Gestade des Casanare, des Meta, Orenoco und des Venturio erstreckten, und selbst die völlig granitischen Gegenden in der Mission von Encaramada unter heftigem Getöse erschüttert wurden[1].

Unter die bekanntesten Erdbeben aber gehört dasjenige, welches 1797 einen groſsen Theil von *Peru* verwüstete. Die Erschütterung ging vom Vulcane Tunguragua aus, erstreckte sich auf 140 franz. Meilen von W. nach O. und auf 170 von NO. nach SW., dauerte mit schwachen Stöſsen den ganzen Februar und März, und wurde mit gröſster Heftigkeit am 5ten April erneuert. Eine Menge Ortschaften und Gegenden wurden durch die herabstürzenden Bergspitzen verschüttet, aus den Vulcanen strömten schlammige Wasser, bedeckten die Gegenden, und überzogen sie mit einer nachher erhärtenden Erdrinde. Es sollen hierbei im Ganzen 16000 Menschen umgekommen seyn[2].

Das Erdbeben von *Valparaiso*, heftiger als man seit 1730 in Chili eines erlebt hatte, ist mit seinen Eigenthümlichkeiten schon erwähnt. In einer Zeit von 2 bis 3 Minuten am 19ten

1 v. Humboldt's Reis. d. Ueb. III. 40.

2 Journ. de Ph. l'an. VII. Fischer spanische Miscellen Bd. I.

Nov. 1822 um 11 Uhr Nachts wurden alle Häuser bedeutend beschädigt und viele umgestürzt. Geringere Schwankungen dauerten noch bis 4½ Uhr Morgens. Das Meer an der Küste sank gleichzeitig um 12 F. und 150 bis 200 Menschen wurden erschlagen. Hierbei war es, dafs man die rotatorischen Bewegungen wahrnahm[1].

Nicht leicht war ein Erdbeben für einen einzelnen Ort zerstörender, als dasjenige, wodurch *Caracas* 1812 unterging, und wovon v. Humboldt eine eben so genaue als lehrreiche Beschreibung geliefert hat[2]. Caraças glaubte wegen der dortigen Urgebirge sich versichert, obgleich schon 1641, 1703, 1778 ein stärkeres und 1802 geringere Erdstöfse verspürt waren. Dafs auch diese Gegend in einem vulcanischen Zuge liegt, und daher solchen Katastrophen ausgesetzt seyn mufs, bezweifelte v. Humboldt nach seinen Beobachtungen nicht. In diesem vulcanischen Kreise waren zuletzt im December 1811 verschiedene Erdstöfse verspürt, als mit dem 26sten März der Stadt *Caracas* der Tag ihres Unterganges erschien. Der Himmel war heiter, und in Venezuela war seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen, warnende Vorzeichen gingen nicht voraus, sondern ganz unvermuthet erfolgte Abends 4 U. 7 Min. der erste Stofs, wodurch die Glocken zu läuten anfingen. Sogleich folgte ein zweiter, welcher den Boden wellenförmig wallen machte, bald darauf ein unterirdisches Getöse und dann wieder eine senkrechte, bald in eine wellenförmige übergehende Erschütterung, welcher nichts zu widerstehen vermochte. Anstatt sofort das Freie zu suchen, war das Volk augenblicklich in die Kirchen geströmt, wohin man noch obendrein eine Procession anordnete, als schon die Menge der dort versammelten Menschen unter den Ruinen begraben wurde. Zwei Kirchen nämlich, der Trinida und der alta gracia von mehr als 150 F. Höhe und durch 12 bis 15 F. dicke Pfeiler gestützt, stürzten in Schutthaufen von 6 F. Höhe, grofsentheils in Staub zermalmt, zusammen. Die Caserne El Quartel verschwand fast ganz, und ein darin aufgestelltes Regiment, welches zur Procession gehen sollte, verschwand bis auf wenige noch zugleich mit. Neun Zehntel der Stadt waren gänzlich zerstört, und die meisten übrig gebliebenen

1 Frankf. Zeit. 1823. No. 100. Ann. Ch. Ph. XXVII. 382.
2 Relat. Hist. liv. V. c. 1.

Häuser waren unbewohnbar. Man berechnet die Zahl der Erschlagenen auf nahe 10000, diejenigen ungerechnet, welche durch Verstümmelung und Mangel an Nahrung nachher umkamen. Als die Staubwolke sich gelegt hatte, folgte eine heitere Nacht, welche mit der Zerstörung der Erde und den mit Leichen bedeckten Trümmern einen furchtbaren Contrast bildete. Die Dauer der eigentlichen Stöfse wird von einigen 50 Min. von andern 1 Min. 12 Sec. angegeben.

Die Erschütterungen verbreiteten sich auch über die Provinz Venezuela, Varinas, Maracaibo und die Gebirge im Innern des Landes. La Guyara, Mayquetia, Antimano, Baruta, la Vega, S. Felipe und Merida wurden fast ganz zerstört. In Guyara und Felipe betrug die Zahl der Erschlagenen gegen 5000. Das Erdbeben schien in einer Linie von ONO. nach WSW. von Guyara und Caracas nach den Bergen von Niquitao und Merida am heftigsten gewesen zu seyn, erstreckte sich über eine Länge von 180 franz. Meilen von Caracas bis an den Magdalenenflufs, und war stärker auf den Gneifs- und Glimmerschiefer-Cordilleren, als in den Ebenen. Zu Valecillo bei Valencia warf die zerrissene Erde so viel Wasser aus, dafs sich ein Strom daraus bildete, und ebenso bei Porto Cabello; dagegen wurde der Spiegel des Sees von Maracaibo vermindert. Alle seitwärts vom eigentlichen Zuge gelegenen Gegenden, namentlich die sonst so gefährlichen Küsten von Araya, Cumana und Nueva Barcellona litten nichts.

Am 27sten März folgte noch eine heftige, mit starkem Donner begleitete Erschütterung, und eine der ersten an Heftigkeit wenigstens gleiche am 5ten April. Hierbei stürzten grofse Felsmassen von der Silla de Caracas, und man glaubte zu bemerken, dafs der Gipfel sich an 50 bis 60 Toisen gesenkt habe, wie denn auch beim Erdbeben in Quito der Tunguragua gesunken seyn soll[1].

VI. Da gegenwärtig ein inniger und ursächlicher Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den vulcanischen Aus-

1 Sehr vollständig und belehrend über die Erdbeben ist v. Hoff in seinem erwähnten Werke, hauptsächlich in Hinsicht auf die überall genau nachgewiesenen Quellen. Ebendaselbst findet man Th. II. S. 559 auch eine Angabe der Schriften, welche Verzeichnisse der Erdbeben enthalten.

brüchen nicht mehr bezweifelt werden kann, die früheren Hypothesen über die Ursachen dieser Phänomene aber mit der gegenwärtig geläuterten physikalischen Kenntnissen unverträglich sind, so wird es genügen, diese nur kurz zu erwähnen, die Untersuchungen über die Ursachen der gesammten vulcanischen Wirkungen aber am geeigneten Orte nachzuholen[1].

Die anfängliche Hypothese, wonach die Ausbrüche der Vulcane sowohl als auch die Erdbeben Wirkungen des Centralfeuers seyn sollten, wurde hauptsächlich zuerst angefochten durch W. Stukeley[2], welcher aus den Erscheinungen zweier zu London am 8ten Febr. und 8ten März 1749 beobachteten Erdbeben zu beweisen suchte, dafs eine hohe Spannung der Elektricität dieselben erzeuge. Andreas Bina[3] gab sie noch bestimmter für Erschütterungsschläge aus, durch unterirdische Flaschen erzeugt, welche er in dortigen Wasserbehältern, von Schwefel und Pech umschlossen, zu finden glaubte. Beccaria[4] suchte bekanntlich der Elektricität alle nur möglicherweise mit ihr vereinbare Erscheinungen beizumessen, und so glaubte er auch, dafs eine Anhäufung derselben in der Erdrinde Erschütterungsschläge gegen die Wolken verursache, welche sich dann als Erdbeben zeigten. Lange stellte man einen zum Beweise dieser Behauptung ersonnenen Versuch an, indem der Verbindungsdraht einer leidener Flasche über eine Glasscheibe geleitet, hier etwa 1 Z. weit unterbrochen, nnd über diese Unterbrechung eine Scheibe Elfenbein mit Kartenhäuschen gelegt wurde, welche durch die Erschütterung des Flaschenschlages zerstiebten[5]. Weder die Anwendbarkeit dieses naiv ausgedachten Versuches, noch auch die ganze Theorie verdienen irgend eine Widerlegung. Auch in America fand v. Humboldt die Meinung herrschend, dafs die Erdbeben elektrische Erscheinungen seyen, bemerkt aber zugleich, dafs dieses mit der Vorliebe für den Americaner Frank-

1 S. *Vulcane.*

2 Phil. Trans. XLVI. No. 497. The philosophy of earthquake natural and religious. Lond. 1750. 8. Vergl. Hales ebendaselbs XLVI. 497.

3 Ragionamente sopra la cagione de terremuoti. In Perugia. 1751. 4.

4 Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758. 4.

5 Cavallo vollständ. Abh. der Lehre von der El. 3te Aufl. Leipz. 1785. p. 184. u. 234.

LIN entschuldigt werden müsse[1]. Die Erfindung der Volta'schen Säule und die Beobachtung ihrer ausgezeichneten Wirkungen bewog viele Gelehrte, am wenigsten jedoch die eigentlichen, mit der Natur dieses merkwürdigen Apparates innig vertrauten Physiker, die ganze Erde als eine solche Säule anzusehen oder im Innern derselben ähnliche Apparate anzunehmen. Es belohnt sich inzwischen auch hierbei der Mühe nicht, die gänzliche Unhaltbarkeit einer solchen Hypothese nachzuweisen.

Inzwischen veranlaſste diese Theorie den Abbé BERTHOLON DE ST. LAZARE einen *Erdbebenableiter* (paratremblement de terre) anzugeben[2], welcher FRANKLIN's Blitzableitern nachgebildet war. Man soll nämlich lange eiserne Stangen so tief als möglich in die Erde senken, und sowohl ihr unteres, als auch ihr oberes hervorragendes Ende mit einer Krone von mehreren Spitzen versehen. Einige deutsche Schriftsteller, namentlich WIEDEBURG[3], haben diese Vorschläge wiederholt, ohne zu bedenken, daſs bei der ungeheuern Ausdehnung der Erschütterungskreise die wirkliche Ausführung derselben noch weit mehr an der factischen Unmöglichkeit scheitern müſste, als dieses bei den neuerdings beliebten Hagelableitern der Fall seyn würde[4].

M.

Erdbebenmesser

ist ein in die physikalischen Apparate nicht eigentlich eingeführtes Werkzeug, welches durch den Mechanicus SALSANO in Neapel in Vorschlag gebracht[5], schwerlich aber jemals wirklich ausgeführt wurde. Dasselbe besteht aus einem langen Pendel mit einem 36 ℔ schweren Gewichte, und einem Pinsel am unteren Ende, dessen Bestimmung seyn sollte, mit einer färbenden Substanz die Gröſse der erregten Schwingungen und die Richtung derselben auf einer untergelegten papiernen Windrose zu zeichnen. Auſserdem sollte am Gewichte des Pendels eine Querstange mit Klöppeln angebracht werden, um bei der Bewe-

1 v. Humboldt Voy. II. 6.

2 Journ. de Ph. XIV. 8.

3 Ueber die Erdbeben. Jena 1784. 8.

4 Ueber die einzigen Verhütungsmittel der Erdbeben, nämlich tiefe Brunnen. S. *Vulcane*.

5 Lichtenberg Mag. II. 2. p. 68.

gung an Glocken zu schlagen, und den Beobachter aufmerksam zu machen. Die wirkliche Ausführung des Vorschlags würde mit weit größseren Schwierigkeiten verbunden seyn, als durch den unsichern Nutzen einer solchen Vorrichtung aufgewogen werden könnten. *M.*

Erde.

Erden; *Terrae*; Terres, *Earths.* Unter Erde verstanden die älteren Chemiker eine einfache, solide, feuerbeständige, farblose, geschmacklose und nicht im Wasser lösliche Materie. Später zeigte sich, dafs es mehrere dergleichen Erden gäbe, welche sich nicht auf einander zurückführen lassen, und es wurden verschiedenartige Erden unterschieden. Endlich zeigte H. Davy, dafs sie alle aus eigenthümlichen Metallen oder diesen ähnlichen Substanzen und aus Sauerstoff bestehen, so wie sie auch in ihren chemischen Verhältnissen mit den übrigen Metalloxyden (die Alkalien mit inbegriffen) so sehr übereinkommen, dafs eine genaue Abgrenzung unmöglich ist. Heutzutage werden allgemein zu den Erden gerechnet: die Zirkon-, Alaun-, Sofs- nnd Ytter-Erde; bald zu den Erden, bald zu den Säuren zählt man die Kieselerde; bald zu den Erden, als alkalische Erden, bald zu den Alkalien die Bitter-Kalk-Strontian- und Baryt-Erde[1], und auch das Ceriumoxydul hat so grofse Aehnlichkeit mit der Yttererde, dafs es schon von Klaproth den Erden beigezählt wurde. *G.*

Erde.

Erdkugel, Erdball; *Terra, Globus terraqueus, globus terrestris;* Terre; *Earth.*

Man bezeichnet hiermit denjenigen Planeten, welchen wir bewohnen. Als hauptsächlichste Theile der hierher gehörigen Untersuchung lassen sich betrachten die *Bewegung dieses Körpers um seine Axe und im Weltraume*, überhaupt die Stelle, welche derselbe im Sonnensysteme unter den übrigen Planeten einnimmt, die *Gröfse* und *Gestalt* der Erde, ihre *Dichtigkeit*

---

1 S. *Alkali.*

und die Beschaffenheit ihrer inneren Theile, ihre *Temperatur* mit Rücksicht auf die sie umgebende Atmosphäre, die *Bestandtheile ihrer Rinde* nebst deren Wechseln und Lagerungsverhältnissen, ihre *Oberfläche* mit den Abwechselungen der Erhabenheiten und Vertiefungen, des Festen und Flüssigen, endlich die *Art ihrer ursprünglichen Bildung* und die *Veränderungen*, durch welche sie ihren gegenwärtigen Zustand erhalten hat. Alles dieses gehört dem geringeren Theile nach zur Astronomie, dem bei weitem gröſseren nach zur mathematischen und physischen Geographie, zur Geognosie und Geologie. Daſs ein jeder dieser einzelnen wissenschaftlichen Zweige in groſsen Werken umfassend und gründlich bearbeitet sey, ist allgemein bekannt, und daſs sie insgesammt von groſsem Nutzen und von hoher Wichtigkeit für den Physiker sind, auſserdem aber allgemeines Interesse erregen, wird eben so wenig von irgend jemanden in Abrede gestellt werden. So sehr nun aber dieses Werk seiner Anlage gemäſs nach möglichster Vollständigkeit der zur Physik gehörigen Lehren strebt, so würde es doch die bestimmten Grenzen weit überschreiten, wenn ich auch nur das Wichtigere von demjenigen aufnehmen wollte, was der Forschungsgeist der Gelehrten über alle die genannten Disciplinen bisher aufgefunden hat, und ich werde mich daher begnügen, nur die allerwichtigsten Thatsachen zusammenzustellen, um hierdurch eine allgemeine Uebersicht des Ganzen zu verschaffen.

M.

I. Bewegung der Erde um ihre Axe und im Weltraume.

Obgleich die frühern Astronomen sehr geneigt waren, die Erde als ruhend anzusehen und der Sonne eine Bewegung um die Erde beizulegen, so kann man doch jetzt aus dem im Art. *Weltsystem* anzuführenden Gründen mit Sicherheit behaupten, daſs die Erde ein Planet ist, und daſs sie nach genau eben den Gesetzen, wie die übrigen Planeten, Umläufe um die Sonne vollendet.

Die Erde ist unter den bekannten Planeten von der Sonne aus gezählt der dritte, indem Mercurius und Venus der Sonne näher sind, und daher *untere* Planeten heiſsen: Mars, Ceres, Vesta, Juno, Pallas, Jupiter, Saturnus, Uranus, lau-

fen in gröſsern Bahnen um die Sonne und heiſsen *obere* Planeten.

Vermöge dieser Stellung im Planetensysteme sieht man von der Erde aus die untern Planeten immer ziemlich nahe bei der Sonne, an welcher sie bei der untern Conjunction so vorübergehen, daſs sie uns näher als die Sonne sind, in der obern Conjunction gehen sie im entferntern Theile ihrer Bahn, jenseits der Sonne an ihr vorbei, die obern Planeten dagegen erscheinen uns zuweilen in Opposition mit der Sonne, und dieses ist der Zeitpunct, wo sie uns am nächsten sind; sie erscheinen in Conjunction mit der Sonne, wenn sie in dem entferntern Theile ihrer Bahn jenseits der Sonne sich befinden[1].

Die Bahn der Erde ist eine Ellipse, in deren einem Brennpuncte die Sonne steht. Die halbe groſse Axe dieser Ellipse, oder die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, welche man vorzüglich aus den Beobachtungen des Vorüberganges des Venus vor der Sonne bestimmt hat[2], ist nach Enke's Berechnungen 20666800 Meilen, und wenn man alle vorhandenen Beobachtungen vergleicht, so kann man nach Enke behaupten, daſs diese Entfernung nicht unter 20577649 und nicht über 20755943 Meilen betragen kann. Diese Entfernung ist ungefähr dem 12000fachen Durchmesser der Erde gleich, und wegen dieser geringen Gröſse der Erde in Vergleichung gegen ihren Abstand von der Sonne, ist die Parallaxe der Sonne sehr geringe, nur 8",58.

Die elliptische Bahn der Erde ist nur wenig excentrisch; die Excentricität beträgt 0,016780 der mittlern Entfernung, und ändert sich abnehmend in hundert Jahren um 0,000042. Wegen dieses Abstandes der Sonne vom Mittelpuncte der Bahn, ist die Bewegung der Erde und folglich auch die scheinbare Bewegung der Sonne ungleich, der Unterschied zwischen der mittlern und wahren Anomalie kann bei der Erde nur höchstens 1° 55′ 22″ betragen, und dieses ist die gröſste Mittelpunctsgleichung. Die Erde erreicht ihre Sonnennähe, wenn sie sich in der Länge =3 Zeichen 9° 35′ befindet, also am 10ten Tage nach dem Wintersolstitium, die Lage der Erdbahn aber ändert sich so, daſs ihre groſse Axe ihre Stellung jährlich um 11¼ Sec. ändert; daher kömmt die Erde in jedem Jahre etwas später zur Sonnennähe.

1 S. *Aspecten*, *Opposition*, *Conjunction*.

2 S. *Durchgang*.

Die Bewegung der Erde in ihrer Bahn ist, nach den in den Art. *Bahn* und *Centralbewegung* angegebenen Gesetzen so bestimmt, daſs die beschriebenen Sectoren den Zeiten proportional sind, und hiernach wird die Stellung der Erde zu irgend einer gegebenen Zeit bestimmt.

Die ganze Umlaufszeit der Erde heiſst ein Sonnenjahr, und zwar 1. ein siderisches Sonnenjahr = 365¼ Tage oder genauer = 365,256383 Tage diejenige Zeit, da die Erde vom Mittelpuncte der Sonne aus gesehen zu eben dem Sterne zurückkehrt, 2. ein tropisches Sonnenjahr = 365 Tage 5 Stunden 48′ 51⅙″ die Zeit, da sie in Beziehung auf die Nachtgleichen einerlei Stellung wieder erlangt; 3. die anomalistische Umlaufszeit = 365 Tage, 6 Stunden 13′ 59″ [1]. Die Zeit, da die Erde zu einerlei Stellung in Beziehung auf die groſse Axe der Bahn zurückkehrt.

Wenn man die Gröſse der Bahn berechnet, welche die Erde durchläuft, so findet man, daſs die Erde täglich 355800 Meilen, oder stündlich 14800 Meilen, oder in 1 Minute 246 Meilen, in 1 Secunde 4,1 Meilen zurücklegt. Diese Geschwindigkeit von 93700 Pariser Fuſs in 1 Sec. ist also ungemein viel gröſser, als alle Bewegungen, welche wir auf der Erde zu beobachten Gelegenheit haben.

Die Ebene, in welcher die Erde ihre Bewegung vollendet, ist fast unveränderlich, und die Ekliptik am Himmel bleibt daher fast völlig immer derselbe gröſste Kreis. Die Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn geht nach der Ordnung der Zeichen, das ist, wenn ein Beobachter in der Sonne so aufrecht stände, daſs sein Kopf gegen den nördlichen Pol der Ekliptik gerichtet wäre, so sähe dieser die Erde in ihrer Bahn von der rechten Seite gegen die linke fortrücken.

Die Umdrehung oder Rotation der Erde um ihre Axe findet so statt, daſs die Umdrehungsaxe, mit sich selbst parallel bleibend, um die Sonne fortgeführt wird, während die sämmtlichen übrigen Puncte der Erde ihre täglichen Umläufe um diese Axe vollenden. Die Richtung der Umdrehung um die Axe ist ebenfalls nach der Ordnung der Zeichen, das heiſst, wenn ein Beobachter im Mittelpuncte der Erde, den Kopf gegen den Nordpol aufrecht gerichtet stände, und immer nach einem bestimmten Sterne, am besten im Aequator, blickte, so würde er die Ge-

1 In mittl. Zeit.

genstände auf der Erde (wenn man sich diese als ihm sichtbar dächte,) von der rechten zur linken Seite vorüber gehen sehen. Denken wir uns also eben den Beobachter, in eben der Stellung, aber sein Auge immer auf einen bestimmten Punct der Erde (den Chimborasso zum Beispiel) gerichtet, so bleiben die Sterne so hinter diesem Gegenstande zurück, daſs sie in Vergleichung gegen diesen Gegenstand von der linken nach der rechten Seite zu gehen scheinen; diese letztere Beobachtung ist der ganz ähnlich, welche wir über die scheinbare tägl: Bewegung der Gestirne anstellen, und es erhellet, warum die Sterne uns von Osten nach Süden und Westen fortzurücken scheinen, während die wahre Rotation der Erde die entgegengesetzte Richtung hat.

Die Zeit einer Umdrehung der Erde oder der Sterntag ist zu allen Zeiten gleich groſs gewesen und leidet gar keinen, für unsre Beobachtung bemerkbare Aenderung. Dieser Zeitraum würde daher das einfachste und beste Zeitmaſs abgeben, wenn wir nicht durch die Beziehung, in welcher wir mit der Sonne stehen, veranlaſst würden, nach mittlern Sonnentagen zu rechnen. In mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt ist der Sterntag gleich 23 Stunden 56 Min. 4 Sec.

Die Geschwindigkeit, mit welcher jeder Ort auf der Erde, vermöge dieser Umdrehung fortgeführt wird, ist verschieden nach der Lage der Orte. Da nämlich die Pole der Erde gänzlich ruhen, und jeder Punct auf der Oberfläche der Erde einen Kreis um den Pol durchläuft, diese Parallelkreise des Aequators aber desto kleiner sind, je näher sie dem Pole liegen und dennoch alle Orte auf der Erde in gleichen Zeiten um die Erdaxe herumgeführt werden, so ist die Rotationsbewegung der dem Pole nahen Orte sehr langsam, die Bewegung der im Aequator liegenden Orte am schnellsten. Da wir den Umfang des Aequators in 360 Grade, jeden Grad in 15 Meilen, also jenen ganzen Umfang in 5400 Meilen theilen, und diese geographische Meilen nennen, so durchläuft ein Punct am Aequator vermöge der Umdrehung täglich 5400 Meilen, also stündlich 225 Meilen, in 1 Minute 85630 Pariser Fuſs, in 1 Secunde 1427 Par. Fuſs.

Die Lage der Erdaxe gegen die Ebene der Erdbahn ist nicht senkrecht, sondern weicht von der senkrechten um diejenige Gröſse, welche man die Schiefe der Ekliptik nennt, ab. Die Schiefe der Ekliptik beträgt jetzt 23° 27′ 42″ und nimmt jährlich um ½ Secunde ab. Diese Abnahme ist eine Folge der

Einwirkung der Planeten, besonders des Jupiter und der Venus auf die Erde. Obgleich aber die Neigung der Axe gegen die Ebene der Bahn sich im Laufe eines oder einiger Jahre nicht sehr viel ändert, so bedarf dennoch die Behauptung, dafs die Erdaxe während eines ganzen Umlaufs um die Sonne mit sich selbst parallel bleibe, eine kleine Correction. Die Erdaxe ist nämlich nicht immer genau gegen denselben Stern gerichtet, sondern während ihrer Neigung gegen die Ebene der Erdbahn unbedeutend geändert wird, rückt sie gegen die Ordnung der Zeichen fort. Diese, in einem Jahre nur sehr wenig betragende Aenderung der Stellung gegen die Sterne, bringt im Laufe vieler Jahrhunderte einen kegelförmigen Umlauf um den Pol der Ekliptik hervor, und obgleich der Pol des Aequators immer um etwa 23 Grade vom Pole der Ekliptik entfernt bleibt, so liegt er doch in verschiedenen Jahrhunderten in einer verschiedenen Länge [1]. Aufser dieser stetig fortgehenden Aenderung in der Lage der Erdaxe gegen die Sterne findet noch eine periodisch wechselnde, welche ihre Nutation, Wanken der Erdaxe, heifst, statt; jene hängt von dem Einflusse der Sonne, diese von dem Einflusse des Mondes auf die sphäroidische Erde ab. Diese Aenderungen sind indefs alle so klein, dafs man da, wo es nicht auf ganz strenge Bestimmungen ankömmt, sagen darf, die Erde bewege sich mit fast genau parallel bleibender Richtung der Axe fort [2].

Diese schiefe Stellung der Axe gegen die Ebene der Bahn ist die Ursache der Ungleichheit der Jahreszeiteu. Befindet sich nämlich die Erde in demjenigen Theile ihrer Bahn, wo der nördliche Theil der Erdaxe gegen die Sonne hin geneigt ist, so haben alle Bewohner der nördlichen Hälfte der Erde längere Tage und sehen die Sonne höher über ihren Horizont heraufsteigen; dieses ist während unsers Sommers und am meisten am 21. Juni der Fall; wenn dagegen die Erde in dem entgegengesetzten Theile ihrer Bahn ist, wo das nördliche Ende der Erdaxe ihre Neigung von der Sonne abwärts hat, so sind unsre Tage am kürzesten, um den 21. Dec. [3].

---

1 S. *Präcession der Nachtgleichen.*

2 Ein Instrument, welches die Gesetze der Umdrehung der Erde um ihre Axe und die Gesetze der Veränderung der Lage der Erdaxe zu erläutern dient, hat Poisson angegeben, und v. Bohnenberger beschrieben in Gilb. Ann. LX. 60. Vergl. den Artikel *Rotation.*

3 S. *Jahreszeiten.*

Die Ursachen dieser doppelten Bewegung der Erde sind nur sofern, als sie ihren jetzigen Zustand betreffen, bekannt, von dem ersten Ursprunge der Bewegungen wissen wir nichts. Da die Erde einmal die Rotation um ihre Axe erhalten hat, so ergeben die Untersuchungen über die Einwirkungen der übrigen Weltkörper auf sie, daſs die Zeit einer Umwälzung hierdurch gar nicht, die Lage der Axe nur so wie es eben erwähnt ist, eine Aenderung leiden kann. Die Zeit einer Rotation könnte, da ein Niederfallen fremder erheblich groſser Massen auf die Erde als etwas sich nie Ereignendes anzusehen ist, und noch weniger ein Verlust an Masse möglich zu seyn scheint, nur dadurch eine Aenderung erleiden, wenn die ganze Masse der Erde eine merkliche Aenderung ihres Volumens erlitte. Würden alle Massentheilchen der Erde plötzlich oder allmälig der Axe der Erde mehr genähert, so würde, weil dadurch der gesammte Moment der Trägheit vermindert würde, die Rotationsbewegung schneller werden; und in dieser Ueberlegung ist die Behauptung von Laplace gegründet [1], daſs selbst seit den ältesten Zeiten, aus welchen wir Beobachtungen besitzen, die innere Wärme der Erde keine merkliche Aenderung können erlitten haben; denn mit einer Abnahme der Wärme ist bei allen uns bekannten Körpern eine Verminderung des Volumens verbunden; dadurch aber würde der Abstand der Theilchen von der Erdaxe vermindert und eine Aenderung der Umdrehungszeit bewirkt seyn, die sich, wenn sie statt gefunden hätte, in den ältern Beobachtungen, wenn man sie mit den neuern vergleicht, merklich machen müſste. Die Bewegung um die Sonne dauert ganz so fort, wie es den Gesetzen der anziehenden Kräfte gemäſs ist, und selbst die anscheinenden kleinen Abweichungen von der regelmäſsigen Bewegung lassen sich durch die Attraction, die vom Monde und den übrigen Planeten auf die Erde ausgeübt wird, vollkommen erklären. Welcher Stoſs aber zuerst diese doppelte Bewegung hervorgebracht habe, darüber ist uns gar nichts bekannt, und die Beantwortung dieser Frage scheint jenseits der Grenzen zu liegen, welche uns bei unsern Forschungen gesetzt sind.

Wenn man die Erde von der Sonne aus beobachten könnte, so würde ihr scheinbarer Durchmesser nur $17\frac{1}{6}$ Secunde betragen; diese Bestimmung lehrt uns, da der scheinbare Durch-

---

1 Journ. de Phys. 1820. Avril.

messer der Sonne in der mittlern Entfernung von uns 32′ 2″ beträgt, dafs der Durchmesser der Sonne 112 mal so grofs als der Durchmesser der Erde ist, die Oberfläche der Sonne also 12544 mal so grofs als die Oberfläche der Erde ist; der körperliche Inhalt der Sonne 1404928 mal so grofs als der Inhalt der Erde.

Die anziehende Kraft der Erde ist in Vergleichung gegen die anziehende Kraft der Sonne nur geringe, und da wir die Masse der Himmelskörper auf keine andere Weise als nach Mafsgabe ihrer anziehenden Kraft abschätzen können, so finden wir die Masse der Erde $=\frac{1}{354790}$, und darnach in Vergleichung gegen den körperlichen Inhalt die Dichtigkeit der Erde = 3,96 mal so grofs als die Dichtigkeit der Sonne.

Die Erde hat, indem sie ihre Bahn um die Sonne durchläuft, den Mond zum beständigen Begleiter. Er ist ungefähr 60 Erdhalbmesser von ihr entfernt, und ändert seine Stellungen gegen die Erde so, dafs seine relative Bahn um die Erde eine Ellipse ist, deren Gestalt jedoch mehr Aenderungen leidet, als die Gestalt der Erdbahn[1].

Das Zeichen, womit man in der Astronomie die Erde bezeichnet, ist ♁. *B.*

II. Gestalt und Gröfse der Erde.

Die Erde erscheint nach einem ungeregelten Zeugnisse der Augen jedem Beobachter als eine *flache Scheibe*, auf welcher sich Hervorragungen und Vertiefungen befinden, und über welcher die sphäroidische Himmelskugel gewölbt ist. Befindet sich der Beobachter auf einer weit ausgebreiteten flachen Gegend, oder auf einem festen Puncte im unbewegten Meere, so erscheint ihm diese Ebene zwar sehr deutlich, allein eine gröfsere Aufmerksamkeit führt auch dann schon auf Erscheinungen, welche mit einer völlig waagerechten Fläche unvereinbar sind, nämlich das Verschwinden nicht hoher Gegenstände unter der scheinbaren Ebene, worauf sich der Beobachter befindet, und die Vertiefung entfernter hoher Berge, welche ohne die Krümmung der Beobachtungsfläche nach einer bekannten Augentäuschung vielmehr höher erscheinen müfsten, als sie wirklich sind. Es zeigt sich daher, wie wenig die ältesten Griechen,

[1] S. *Mond*.

bei aller ihrer sonstigen Geistesbildung, Beobachtungen scharf aufzufassen, und als Grundlage zu sicheren Schlüssen zu benutzen das Talent hatten. Ein hauptsächlicher Grund aber, warum jene auch in späteren Zeiten bei weiteren Reisen auf der vermeintlich flachen Erde nicht zur Ueberzeugung von ihrer Krümmung gelangten, lag in dem Umstande, dafs ihre weitesten Reisen zur See nach Westen, zu Lande aber nach Osten gerichtet waren, wonach also der höhere und niedrigere Stand der nördlichen und südlichen Sterne über dem Horizonte weniger auffiel. Nach Homer und Hesiodus war also die Erde eine flache Scheibe rundum vom Strome *Okeanos* umflossen, mit welchem der ihnen bekannte Strom *Phasis* im fernsten Osten in *Kolchis* zusammenhing. Ueber die Länder im Norden von Griechenland und im Süden jenseits der Küsten von Syrien hatte man unvollständige Sagen, westlich aber wurde die Weltgrenze zwei Tagereisen jenseits Sicilien gesetzt[1].

Die Vorstellung von der Fläche des oberen Theiles der Erde wurde beibehalten, und mit andern Hypothesen über ihre Gestalt verbunden. Nach Thales von Milet sollte dieselbe auf Wasser schwimmen[2], welches sogar später noch Seneca wiederholt[3]. Anaximander dagegen dachte sich die Erde als einen Cylinder, dessen obere Fläche von den Menschen bewohnt, die untere aber unbewohnt sey. Dieser Cylinder sollte ferner ein Dritttheil seines Durchmessers zur Höhe haben, und in der Mitte des hohen Himmelsgewölbes deswegen frei schweben, weil kein Grund zu einer Bewegung weder nach der einen noch nach der andern Seite vorhanden sey. Anaximenes dagegen liefs die flache Erde durch comprimirte Luft getragen werden, Xenophanes aber gab ihr Wurzeln, die sich ins Unendliche erstrecken, zur Unterstützung. Leukipp, Demokrit, Heraklit und Anaxagoras blieben im Ganzen der Vorstellung Anaximander's über die Gestalt der Erde getreu[4], bis Plato nach phantastischen Philosophemen, aus den pythagoreischen Zahlencombinationen, sie für einen Würfel hielt, weil dieser

---

1 S. J. H. Vofs im Gött. Mag. St. 2. S. 297. und im N. deut. Mus. St. 8.

2 Arist. de Coelo. II. 13.

3 Q. Nat. VI. 6.

4 Diog. Laert. Vit. Phil. Lib. IX.

durch sechs gleiche quadratische, sämmtlich gleich weit von einander abstehende, Flächen eingeschlossen wird, welche wieder aus vier gleichen Seiten mit eben so viel rechten Winkeln bestehen. Indem sonach der Würfel sich als die vollkommenste Figur darstellt, so muſs diese auch der Erde, als dem Haupt- und Central-Körper der Welt eigen seyn[1].

Der erste, welcher richtigere Vorstellungen von der Kugelgestalt der Erde, oder mindestens von der Krümmung ihrer Oberfläche, gehabt zu haben scheint, auf allen Fall aber zur Begründung dieser richtigeren Vorstellung vieles beigetragen hat, war Eudoxus. Dieser, von den Vorurtheilen seiner Zeit freie Mann, welcher die Spitzfindigkeiten der Dialektik und die Künste der Sophistik durchschauete, die leeren und unnützen Phantasieen der herrschenden Schulen aber, welche von den geistesärmern Zeitgenossen als Philosopheme eines tiefdenkenden Geistes bewundert wurden, verachtete[2], dagegen aber ruhigen und besonnenen Beobachtungen einen höheren Werth beilegte, lernte auf seinen Reisen nach Aegypten und Griechenland und durch die Nachrichten von Reisenden die Oberfläche der Erde genauer kennen, beobachtete die verschiedenen Höhen der Sterne über dem Horizonte, und muſste als gelehrter und scharfsinniger Geometer hieraus auf die Krümmung der Erdfläche schlieſsen, indem es nicht wahrscheinlich ist, daſs er diese Erscheinung von einem Näherkommen zu jenen Sternen durch Reisen in südlicher oder nördlicher Richtung abgeleitet haben sollte. Obgleich daher Eudoxus nicht wagte, eine eigentliche Meinung über die Gestalt der Erde aufzustellen[3], weil er sich zunächst nur an die Erfahrung hielt, so ist es doch wahrscheinlich, daſs durch solche Beobachtungen die Vorstellung von der Kugelgestalt der Erde früher begründet wurde, als durch die Philosopheme des Aristoteles. Dieser argumentirte nämlich sehr scharfsinnig, die Erde müsse eine sphärische Gestalt haben, weil jedes Theilchen derselben vermöge seiner Schwere nach dem

---

1 Tiedemann Geist der specul. Philosophie. I. 121.

2 Vergl. Diog. Laert. VIII. 90. Cic. de div. II. 42.

3 Wenigstens ist dieses die Meinung des in diesen Gegenständen durchaus classischen Gelehrten J. K. Schaubach in Geschichte der griech. Astronomie bis auf Eratosthenes. Gött. 1802. 8. S. 257, welchem ich in dieser Uebersicht gefolgt bin.

Mittelpuncte getrieben werde, und da dieses allgemein sey, so müfsten die äufsersten einen gleichen Abstand haben, weil sie sonst herabgleiten würden, um das Gleichgewicht herzustellen[1]. Als weiteren Beweis führt er den Erdschatten auf dem Monde an, und das Emporkommen des *Canopus* über den Horizont, wenn man nach Cypern oder Aegypten reise. Archimedes[2] wiederholte später den angegebenen theoretischen Beweis des Aristoteles in Beziehung auf das Wasser der Erde, allein bei dem Verfall der Wissenschaften verlor sich die Kenntnifs von der Kugelgestalt der Erde, bis dieser Gegenstand in neueren Zeiten eigentlich wissenschaftlich behandelt wurde[3].

Zum Beweise der sphärischen Gestalt der Erde führt man den Schatten an, welchen sie bei Finsternissen auf den Mond wirft. Hiernach könnte sie indefs immerhin cylindrisch seyn, obwohl es etwas gezwungen scheinen müfste, ihr allzeit die hierzu erforderliche Richtung beizulegen. Weit sichrere Beweise liefern indefs das allmälige Emporkommen und Verschwinden der irdischen Gegenstände, nach welcher Richtung man sich auch auf der Erde bewegt, der Himmelskörper, wenn man von Süden nach Norden oder umgekehrt reiset, die regelmäfsig ungleichen Tagszeiten, in denen gleichzeitige himmlische Erscheinungen, z. B. Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, an den verschiedenen Orten der Erde nach ihrer östlichen oder westlichen Lage wahrgenommen werden, und insbesondere die sogenannten Reisen um die Welt.

Wenn man die Leichtigkeit betrachtet, womit gegenwärtig die Erde umsegelt wird, so begreift man die Wichtigkeit kaum, welche den ersten Unternehmungen dieser Art beigelegt wurden. Dennoch verdienen die Namen derjenigen kühnen und beharrlichen Männer, welche jene gefahrvollen Versuche glücklich beendigten, und der Wissenschaft dadurch unschätzbaren Gewinn brachten, allerdings der Nachwelt aufbewahrt zu werden. Der erste war Hernando Magalhaens, ein Portugiese, welcher am 10ten Aug. 1519 mit spanischen Schiffen von Sevilla auslief, an der südlichen Spitze von America die lange Meerenge zwischen dem Continente und dem Feuerlande, die

1 Arist. de Coelo. II. 4.
2 De Insidentibus humido L. I. prop. 2. p. 225 ed. Nizze.
3 Vergl. Riccioli Almagestum nov. I. L. 2. cap. 1.

nach ihm benannte Strafse, entdeckte, durch diesen noch jetzt gefahrvollen Weg in die Südsee gelangte, hier leider zu weit nördlich segelte, daher keine der vielen Inseln dieses grofsen Oceans traf, und mit dem äufsersten Mangel zu kämpfen hatte, endlich zu den Ladronen und dann den Philippinen gelangte, wo er auf der Insel *Sebu* am 26sten Apr. 1521 sein Leben verlor, als er einem Könige jener Gegenden in einem Gefechte Beistand leistete. Nur eins von seinen fünf Schiffen kam mit 18 Mann am 7ten Sept. 1522 nach einer stets westlich gerichteten Fahrt wieder in St. Lucar an. Die merkwürdigsten unter den folgenden Erdumseglern sind Francis Drake, ein Engländer von 1577 bis 16ten Sept. 1580; Thomas Candish, ein Engländer 1586—88; Jacob Mahu und Simon de Cordes, Holländer um 1598; Olivier de Noort, ein Holländer 1598—1601; Georg Spilberg, ein Deutscher auf holländischen Schiffen 1614—17; Jacob le Maire und Corn. van Schouten, Holländer 1615—17; Jacob l'Hermite und Hugo Schapenham, Holländer 1623—26; Cowley, ein Engländer 1683—86; William Dampier, ein Engländer 1683—91; Gemelli Careri, ein Italiäner, welcher nach Osten theils zu Lande theils zu Wasser eine Reise um die ganze Erde machte; Woodes Rogers, ein Engländer 1708—11; Eduard Cooke, ein Engländer 1708—11; Le Gentil de la Barbinair, ein Franzose 1714—18; Clipperton und Shelvoeke, Engländer 1719—22; Jacob Roggewin, ein Holländer 1721—23; George Anson, ein Engländer 1740—44; John Byron, desgleichen 1764—66; Samuel Wallis, desgleichen 1766—68; Philipp Carteret, desgleichen anfangs mit Wallis 1766—69; Bougainville, ein Franzose 1766—69; James Cook, einer der berühmtesten unter allen, ein Engländer a) mit Solander und Banks 1769—71; b) mit J. Reinhold und Forster Vater und Sohn 1775; c) mit Clarke und Gore 1776 bis 1779 den 14ten Febr., an welchem Tage er auf *O-Whyhee* erschlagen wurde; Fourneaux, ein Engländer 1772—74; Portlock und Dixon, Engländer 1785—88; Edwards, ein Engländer 1790—92; Etienne Marchand, ein Franzose 1790—92; George Vancouver, ein Engländer 1790—95; A. J. v. Krusenstern, ein Russe 1803—1806; O. v. Kotzebue, ein Deutscher auf einem Schiffe des Russischen Grafen Rumanzow 1815—1818; Freycinet, ein Franzose 1817—20;

endlich O. v. KOTZEBUE, welcher so eben von seiner zweiten Entdeckungsreise mit Russischen Schiffen zurückgekommen ist. Auch die Freibeuter BOWERS 1679 und PEACHOX umschifften die ganze Erde, und ein Deutscher C. F. BEHRENS kam theils zu Wasser theils zu Lande um die ganze Erde[1].

Dafs die Erde ihrer runden Gestalt ungeachtet dem auf ihrer Oberfläche befindlichen Beobachter flach erscheint, ist eine Folge ihrer Gröfse, indem eine Kugelfläche um so weniger von einer ebenen abweicht, je gröfser der Halbmesser der Kugel ist, und bei einem unendlichen Halbmesser mit ihr zusammenfallen oder keinen mefsbaren Unterschied darbieten würde. Um dieses in Beziehung auf die Erde zu versinnlichen, darf man nur berechnen, dafs die Höhe eines Menschen von 6 F. nicht mehr als den 6543382ten Theil vom Durchmesser der Erde ausmacht, die Höhe des *Chimborasso* aber, wenn man ihn zu 20148 F. rechnet, nur den 1948,6ten Theil jener Gröfse; mithin würde letzterer auf einem Erdglobus von 6 F. Durchmesser verhältnifsmäfsig dargestellt nur 0,45 Lin., also nicht völlig eine halbe Linie hoch seyn dürfen. Wäre demnach die Erde vollkommen glatt, so würde ein auf ihrer Oberfläche stehender Beobachter auf einer kreisrunden Ebene von einer zur ganzen Erde verhältnifsmäfsig sehr geringen Ausdehnung zu stehen wähnen, auf deren Rande das unbestimmt entfernte Himmelsgewölbe zu ruhen scheinen müfste, wie dieses auf völlig ruhiger See auch wirklich der Fall ist. Je höher sich der Beobachter über die Oberfläche der Erde erhebt, um so viel gröfser wird die von ihm übersehene Ebene werden, und um so mehr wird sie ihm gekrümmt erscheinen. Dafs es aber nicht leicht oder vielmehr unmöglich war, auf diese Weise die Kenntnifs von ihrer kugelförmigen Gestalt zu erlangen, davon überzeugt sehr bald die Betrachtung, dafs in einer Höhe von 10000 F. nur ein Bogenstück von nicht völlig 3,6 Graden, in 365 geographischen Meilen Höhe nur 90 Grade und bei einer Erhebung von 4090 M. nur 160 Grade übersehen werden[2].

---

1 J. M. FRANZ Abh. von der bekannten und unbekannten Welt. Nürnb. 1762. 8. Lehrbuch der mathematischen Geographie von Fr. KRIES. Leipz. 1814. 8. S. 16. Collection de tous les Voyages faits autour du monde par les differentes nations de l'Europe. Par BERENGER. Laus. et Par. Nouv. Ed. 1795. 10 Vol. 8.

2 Kries a. a. O. S. 7.

Um allgemein zu finden, wie weit in der Ebene liegende Gegenstände von einem Berge herab, oder Berge aus der Ebene, gesehen werden, oder wie weit die sichtbare Horizontalfläche sich bei einer gegebenen Erhöhung erstreckt, dient folgende Betrachtung. Ist C das Centrum der Erde, a g eine Erhöhung auf der Oberfläche derselben, g b d eine die Oberfläche der Erde in b berührende Linie, so wird man, ohne Rücksicht auf die Strahlenbrechung, von g bis b und umgekehrt sehen können. Es ist aber im rechtwinklichen Dreieck g b C; b c : gC = cos. x : rad. Nimmt man den Radius des Kreises als Einheit, nennt g a = h und berücksichtigt, daſs b C = a C der Halbmesser der Erde = r ist, so erhält man $\text{Cos. } x = \frac{r}{r+h}$, woraus für einen gegebenen Werth von h der Bogen b a gefunden wird. Indem aber auf einen Grad der kugelförmig gedachten Erde nahe genau 15 geographische Meilen gehen, so können hiernach folgende einander zugehörige Werthe gefunden werden[1].

Fig. 169.

Höhe in par. Fuſs		Aussicht in geogr. Meil.	Höhe in par. Fuſs		Aussicht in geogr. Meil.
100	—	2,75	4500	—	18,40
200	—	3,88	5000	—	19,40
300	—	4,75	6000	—	21,25
400	—	5,50	7000	—	22,96
500	—	6,17	8000	—	24,50
1000	—	8,66	9000	—	26,04
1500	—	10,62	10000	—	27,44
2000	—	12,30	12000	—	30,06
2500	—	13,72	14000	—	32,50
3000	—	15,04	16000	—	34,70
3500	—	16,25	18000	—	36,80
4000	—	17,36	20000	—	38,80

Daſs sich die zwischen liegenden Werthe durch eine einfache Interpolation finden lassen, darf kaum erwähnt werden. Eben so zeigt der bloſse Anblick der Figur, daſs auf gleiche Weise die Entfernung g d gefunden wird, in welcher von einer Erhöhung g a eine andere Erhöhung d e gesehen wird, wenn der Lichtstrahl die Oberfläche der Erde in b berührt. Wären z. B.

1 S. Kries a. a. O. p. 40.

beide Erhöhungen gleich, so würde man bis zur doppelten Entfernung sehen können, auch darf nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs die Strahlenbrechung die Weite der Aussicht vergröfsert. Fälle dieser Art finden sich in der Erfahrung unzählig. So ist der Berg Mongo in Spanien 727 Meter (2238 P. F.) hoch, und wird auf 20 franz. (12 geogr.) Meilen weit von der See aus als kleine Insel gesehen, und von diesem Berge aus sieht man die Inseln *Formentera* und *Ivica*, welche vom Ufer ab nicht sichtbar sind, als kleine Puncte im Horizonte. In Mexico sieht man nach v. Humboldt den stets beschneieten Gipfel des *Orizaba* auf 60 franz. Meilen weit, und ein Beobachter auf der Spitze desselben würde daher einen Horizont von gleichem Halbmesser übersehen[1].

Seitdem die Gestalt der Erde etwas genauer bekannt war, wählte man gewisse Bezeichnungen, welche, meistens von der hohlen Himmelskugel entlehnt, auf die Erde, als Kugel angenommen, übertragen wurden, um sich auf derselben zu orientiren. Da diese sämmtlich einzeln genauer erörtert werden[2], so wird es genügen, sie hier nur kurz namhaft zu machen, damit die nachfolgenden vielfachen Beziehungen auf dieselben gröfsere Deutlichkeit erhalten.

Da die Erde sich umdrehet, so mufs die durch ihr Centrum gehende Linie, um welche diese Drehung statt findet, ihre *Axe*, und deren Enden ihre *Pole* genannt werden, wovon der eine, nach Norden gerichtete, der *Nordpol*, der andere, nach Süden gerichtete, ihr *Südpol* heifst. Derjenige gröfste Kreis, welcher allerorten von beiden Polen 90 Grade absteht, heifst der *Aequator*, der *Gleicher*, die *Linie*[3], und der Durchmesser dieses gröfsten Kreises wird der *Erddurchmesser* genannt. Mit diesem Aequator parallel laufen Kreise, welche nach den Polen hin zunehmend kleiner werden müssen. Man nennt sie *Parallelkreise* oder schlechtweg *Parallele*, und zeichnet sie auf den Erdgloben meistens so, dafs sie auf den rechtwinklich von ihnen geschnittenen Meridianen von 10 zu

---

1 Biot Traité élémentaire d'Astronomie physique sec. ed. Par. 1810. 3 Vol. 8. I. p. 19.

2 Vergl. die hierher gehörigen einzelnen Artikel.

3 Vergl. *Aequator*. Th. I. S. 213.

10 Graden abstehen, in der Vorstellung aber denkt man sich durch jeden gegebenen Ort auf der Erdoberfläche einen solchen Parallelkreis, dessen Abstand vom Aequator in Theilen des zwischen beiden liegenden Bogens nach der Kreistheilung gemessen wird. Indem aber auch die *geographische Breite*[1] auf gleiche Weise gemessen wird, so fallen beide zusammen und alle auf dem nämlichen Parallel liegende Oerter haben daher auch eine gleiche geographische Breite, wodurch die Lage derselben rücksichtlich ihres Abstandes vom Pole oder vom Aequator bestimmt ist. Minder scharf ist folgende Bestimmung. Wenn man durch diejenigen Puncte, wo die Sonne bei ihrer gröſsten nördlichen und südlichen Abweichung im Zenith steht, einen Parallelkreis vom Himmel auf die Erde überträgt, so erhält man die *Wendekreise,* und wenn man in einem gleichen Abstande von den Polen, als der Abstand dieser Kreise vom Aequator beträgt, gleichfalls zwei Parallelkreise zieht, so nennt man diese *Polarkreise*, durch welche vier Kreise die Oberfläche der Erde in fünf *Kugelzonen* oder *Erdgürtel* getheilt wird, die sich durch die Länge und Kürze der Tage sowohl, als auch durch ihre ungleiche klimatische Beschaffenheit auffallend von einander unterscheiden.

So wie durch die genannten Parallelkreise oder die geographische Breite die Lage eines jeden Ortes auf der kugelförmig gedachten Erde rücksichtlich auf die Pole und den Aequator genau bestimmt ist, eben so muſs dieses auch in einer hierauf lothrechten Richtung der Fall seyn. Um dieses zu erreichen, dienen die schon erwähnten *Meridiane*, oder gröſste Kreise, welche durch beide Pole und jeden gegebenen Ort gezogen, den Aequator rechtwinklich schneiden. Sie sind nach der Kreiseintheilung in Grade, Minuten und Secunden in der Art getheilt, daſs sie aus vier Quadranten bestehen, deren jeder mit 0° im Aequator anfängt und mit 90° in einem der beiden Pole endet. Diese Eintheilung ist dadurch begründet, daſs die Erdaxe eine unveränderliche Richtung gegen das Himmelsgewölbe und die daran befindlichen Sterne hat, und hierdurch verlängert zur Weltaxe wird, um welche sich die hohle Himmelskugel scheinbar umwälzt. Der Aequator dagegen, und somit auch die ge-

---

1 Vergl. *Breite* Th. I. S. 1196.

ımmten Parallelkreise, sind fortlaufend als ganze Kreise nach er bei dieser üblichen Theilung getheilt, und es würde also ɘder Punct auf der Oberfläche der Kugel durch diese beiden ich rechtwinklich schneidenden Coordinaten bestimmt seyn, venn nur irgend ein fester Anfangspunct im Aequator vorhanlen wäre, von welchem an nach der einen oder der andern ›eite hin die Grade und deren Theile im Aequator gezählt werlen könnten, d. i. wenn der *erste Meridian* bestimmt wäre.

Es ist in der That etwas Auffallendes, dafs bei der sonıtigen aufserordentlichen Schärfe und Bestimmtheit in der Mathematik und Geometrie über den ersten Meridian so viele Unbestimmtheit herrscht. Die Ursache hiervon liegt theils in einer mit dieser Sache an sich verbundenen Willkür, theils und hauptsächlich aber darin, dafs die seefahrenden Nationen es bequem fanden, die astronomischen Längenbestimmungen auf vorzüglich besuchte Häfen oder eigene bedeutende Sternwarten zu reduciren. Hierdurch ist indefs einmal eine grenzenlose Verwirrung in diese Sache gekommen, wovon ein sprechender Beweis schon dadurch gegeben wird, dafs die spanischen Charten allein nach 7 verschiedenen ersten Meridianen graduirt sind, nämlich *Cadix*, *Carthagena*, *Insel Leon*, *Collegium der Adligen zu Madrid*, *Punta de la Galera* auf Trinidad, *Teneriffa* und *Ferro*[1]. Die am meisten vorkommenden ersten Meridiane sind der von *Ptolemäus* angenommene, welcher durch die Canarischen Inseln geht[2], und bestimmter der durch die Insel *Ferro*, welcher die alte und neue Welt trennt, oder eigentlicher die Grenze der ehemals bekannten Erdtheile bildet, und daher gegenwärtig seine Bedeutung verloren hat. Verschiedene Landcharten aber, welche von diesem ersten Meridiane an graduirt sind, geben die Lage dieser Insel unrichtig an, z. B. Doppelmair setzt sie 22°,5 westlich von Paris. Der Cardinal Richelieu berief 1634 eine Gesellschaft Mathematiker zusammen, um den ersten Meridian zu bestimmen, und diese nahmen den durch *Ferro* gehenden an, welchen de l'Isle zu 20° westlich von Paris bestimmte[3]. Inzwischen wird die Lage von

---

1 V. Zach in Monatl. Corr. XVIII. 317.

2 La Place Exposition du Système du Monde 5me ed. Par. 1824. 2 vol. 8. I. 129.

3 J. T. Mayer prakt. Geom. IV. 93.

Ferro verschieden angegeben, und wenn Paris 20° östlich vom ersten Meridiane liegen sollte, so würde dieser nicht auf die Insel Ferro selbst, sondern westlich zwischen diese und die Insel Gomera in die See fallen[1]. Man nimmt indeſs bei einiger hierüber noch obwaltenden Ungewiſsheit im Mittel an, daſs Paris 20° östlich vom ersten Meridiane liege.

Einige Portugiesische Charten setzen den ersten Meridian auf die azorische Insel *Terzera*, weil daselbst zu jener Zeit die magnetische Linie ohne Abweichung war[2], und deren Lage 9° 32′ 42″ westlich von Ferro angegeben wird. Auf manchen älteren holländischen Charten geht derselbe durch die *Insel del Fuego* oder *St. Philipp* beim grünen Vorgebirge. Mercator wählte hierzu die azorische Insel *Corvo*, weil seiner Zeit die magnetische Linie ohne Abweichung auf dieselbe fiel. In den neuesten Zeiten ist es am gebräuchlichsten, den *Meridian von Ferro* beizubehalten, aber so daſs Paris 20° östlich von demselben angenommen wird, oder der erste Meridian wird durch die Pariser Sternwarte gelegt. Letzteres findet man auf den neuesten französischen und auf verschiedenen deutschen und italienischen Charten, die englischen dagegen haben den *Meridian von Greenwich* 2° 20′ 15″ westlich von Paris als ersten Meridian, auch rechnen die Engländer zuweilen die Länge von London an. Sonst dienen auch die Meridiane berühmter Sternwarten, z. B. *Kopenhagen*, *Göttingen*, *Berlin*, *Mailand* u. a. m. als Normalpuncte dieser Bestimmung.

Man hat vielfach und mit vollem Rechte bedauert, daſs sich in diese Bestimmung ein solcher Mangel an Einheit eingeschlichen hat, und es wäre sehr zu wünschen, daſs La Place's Vorschläge allgemein beachtet und befolgt würden[3], so wenig auch Nationalstolz und eine etwas gröſsere Bequemlichkeit der Berechnung und Orientirung für die Seefahrer dieses hoffen läſst. Zwei Puncte hat dieser hierzu vorgeschlagen, wovon der eine

---

1 Monatl. Corr. XVI. 58.

2 Vergl. *Abweichung, magnetische.*

3 Syst. du Monde a. a. O. „Il est à désirer, que tous les peuples de l'Europe, au lieu de rapporter au méridien de leur premier observatoire, les longitudes géographiques, s'accordent à les compter d'un même méridien donné par la nature elle-même, pour le retrouver surement dans tous les temps.

grofse Bequemlichkeit für die europäischen Seefahrer gewährt, der zweite eine höhere kosmische Bedeutung hat, nämlich entweder den *Pico di Teneriffa* 18° 50′ 54″ westlich von Paris, welcher sehr kenntlich ist, weithin gesehen wird, den meisten nach Südamerica, dem Cap und Ostindien segelnden Schiffen zum Merkmale und Anhaltspuncte dient, und ohnehin als erster Meridian auf verschiedenen grofsen holländischen Charten angenommen ist; oder diejenige Linie, welche durch die grofse Axe der Sonnenbahn gegeben wurde, als diese auf die Linie der Tag- und Nachtgleichen normal war. Die Epoche, worin dieses sich ereignete, fällt in 1250 unserer Zeitrechnung, und würde den ersten Meridian 166° 46′ östlich von Paris geben[1].

Noch eine andere Unbestimmtheit in der Bezeichnung der Länge zeigt sich darin, dafs man vom ersten Meridiane an, wohin derselbe auch gesetzt wird, die Längen bald nach Osten bald nach Westen hin zählt. Indefs ist doch so viel als Regel festgesetzt, dafs bei einer mangelnden Bestimmung hierüber unter der Länge schlechtweg die östliche verstanden wird. Endlich mufs die Bezeichnung der Länge und Breite auf einer Kugel etwas auffallend seyn. Sie erklärt sich indefs bald aus den Vorstellungen der Alten, denen ein weit ausgedehnterer Theil der Erdoberfläche in östlicher und westlicher Richtung bekannt war als in nördlicher und südlicher, und welche daher nach jener die Länge und nach dieser die Breite der Länder bezeichneten; begründet ist aber diese Bestimmung durch Strabo, welcher vom äufsersten Süden bis zum äufsersten Norden 29700 Stadien, vom äufsersten Westen bis zum äufsersten Osten aber 70000 Stadien annahm.

A. Gestalt und Gröfse der Erde nach Gradmessungen.

Sobald man sich seit Aristoteles von der runden Gestalt der Erde überzeugt hatte, fand man ohne Schwierigkeit, dafs sie sehr grofs seyn müsse; wie grofs sie aber seyn möge, dieses konnte aus begreiflichen Gründen weder so leicht noch so bald gefunden werden, und ist erst in den neuesten Zeiten mit einem sehr hohen Grade der Bestimmtheit ausgemittelt. Aristoteles

1 Mon. Cor. XVIII. 318.

selbst[1] giebt an, die Mathematiker vor ihm hätten den Umfang der Erde zu 400000 Stadien gefunden, erwähnt jedoch nicht, worauf diese Bestimmung gegründet ist[2]. Archimedes[3] dagegen erwähnt beiläufig, einige Geometer hätten zu beweisen gesucht, der Umfang der Erde betrage nahe 300000 Stadien. Die älteste eigentliche Messung scheint die von Eratosthenes gewesen zu seyn, welche ihre Unvollkommenheit als Folge der gebrauchten mangelhaften Hülfsmittel durch sich selbst genugsam beurkundet. Er sowohl als auch Posidonius nach ihm bedienten sich zur Messung der Sonnenhöhen einer kreisförmig gebogenen kupfernen Schüssel (σκάφη) mit einem lothrechten Stifte, von dessen Spitze ein begrenzter Schatten auf die getheilten Kreise der Schüssel fiel und zur Messung der Bogen diente. Eratosthenes (geb. 276 J. v. C. G.) wufste, dafs das Bild der Sonne bei ihrem höchsten Stande sich auf der Wasserfläche tiefer Brunnen in *Syene* spiegeln, dort daher im Zenith stehen müsse, zu gleicher Zeit aber machte der Schatten der Sonne in Alexandrien mit dem verticalen Stifte einen Winkel, welcher den funfzigsten Theil des Kreises betrug, also 7° 12′, und dieses mufste die Gröfse des zwischen beiden Oertern liegenden Bogens der kugelförmigen Erde seyn. Die Gröfse dieser Entfernung mafs er nach den (nicht so ganz ungenauen) Reiseberichten der Caravanen, und setzte ihn zu 5000 Stadien, welches den Umfang der Erde = 250000 Stadien giebt[4]. Wenn man diese Angabe danach corrigirt, dafs beide Oerter nicht unter dem nämlichen Meridiane liegen, so erhält man für den Umfang der Erde höchst genau 5408,4 geograph. Meil., nach Eratosthenes selbst aber beträgt diese Gröfse 5813 geogr. Meil[5]. Plinius nennt diese ganze Bestimmung ein „*ausum improbum, sed ita subtili ratione comprehensum, ut pudeat non credere,*" findet aber für den Umfang der Erde 6562 g. M., vermuthlich weil die meisten älteren Angaben noch gröfser waren, nämlich nach Aristoteles 9302 g. M., nach Archimedes 6976 g. M.;

1 De Coelo. cap. 14.

2 Montucla Hist. des Math. I. 240.

3 De num. aren. §. 2. p. 212. ed. Nizze.

4 Vergl. Cleomedes Theoria cyclica. Basil. 1547. 8. cap. 10. Plin. H. N. II. 108.

5 Schaubach a. a. O. 280. Montucla. a. a. O. I. 242. Laplace Syst. du Monde 3me ed. p. 338.

uch soll HIPPARCH (um 160 v. C. G.) nach der Angabe des Plinius[1] die Messung des ERATOSTHENES revidirt und hiernach den Umfang der Erde gröfser gefunden haben. Als eigentliche Messung ist erst später die des POSIDONIUS bekannt, welcher bemerkte, dafs der Stern Canopus in Rhodus beobachtet gerade über den Horizont kam, in Alexandrien aber sich um den 48sten Theil des Kreises, also 7° 30′ über denselben erhob. Die Entfernung beider Oerter schätzte er auf 5000 Stadien, und gab also der ganzen Erde einen Umfang von 240000 Stadien[2], welches 5580 g. M. beträgt. Nach einer andern Nachricht giebt er jenen zu 180000 Stadien an, welche etwa 4185,6 g. M. gleichzusetzen sind, die kleinste Angabe, welche sich überhaupt bei den Alten findet[3]. Die letztere Angabe hat auch PTOLEMÄUS als das Resultat der genauesten Messungen aufgenommen, indem er die Länge eines Grades zu 500 Stadien setzt, und dabei ganz richtig bemerkt, dafs es nicht nöthig sey, die Messungen im Meridian selbst vorzunehmen, weil es genüge, den gemessenen Bogen nur auf diesen zu reduciren[4].

In den rohen Zeiten der Barbarei ging sogar die Kenntnifs der Kugelform der Erde wieder verloren[5], viel weniger konnte die eigentliche Gestalt derselben ein Gegenstand wissenschaftli-

---

1 H. N. L. II. cap. 69. sqq.

2 Montucla. I. 269.

3 S. Ideler in Mon. Cor. XXIII. 453.

4 Geogr. I. 3 u. VII. 5. Die Bestimmungen der Alten bleiben für immer ungewifs, weil die Gröfse der Stadie nicht mit genügender Gewifsheit ausgemittelt werden kann. Die Bemühungen von FRERET, DE BROSSES, DE L'ISLE, CASSINI, BUACHE, D'ANVILLE, LE ROY, DE LA LANDE, BAILLY, MONTUCLA, SCHAUBACH u. a. um diese Bestimmungen übergehe ich mit Stillschweigen.

5 Einen Beweis hiervon liefern LUCRETIUS CARUS, LACTANTIUS u. a., indem sie diejenigen verlachen, welche das Gesetz der Schwere u. dgl. zu vertheidigen sich getrauen. Selbst STRABO scheuet sich, die Behauptung von der kugelförmigen Gestalt der Erde genügend zu beweisen, führt aber die Aussagen derer an, welche das Zischen der Sonne bei ihrem Eintauchen in das Meer gehört haben wollten, und VIRGIL, der Erzbischof von Salzburg, wurde vom Pabste ZACHARIAS abgesetzt und zur Pönitenz nach Rom berufen, weil er behauptet hatte, es gäbe Gegenfüfsler. Die letzten Spuren einer solchen Einfalt zeigten sich in den Einwürfen, welche man dem COLUMBUS machte. Vergl. LACTANTIUS L. III. cap. 24. AUGUSTINUS Civ. D. Lib. 16 u. a.

cher Untersuchungen werden. Bekanntlich blüheten indefs die untergegangenen Wissenschaften der Griechen eine kurze Zeit hindurch wieder auf bei den Arabern, und es ist merkwürdig, dafs die Frage über die Gröfse der Erde unter diesen rohen Barbaren zu allererst der Gegenstand einer genaueren Messung wurde. Der Chalif Al Mamum nämlich liefs 827 n. Ch. G. mehrere Mathematiker nach *Bagdad* kommen, um eine Gradmessung zur Bestimmung der Gröfse der Erde vorzunehmen. Zwei Abtheilungen derselben mafsen im genau bestimmten Meridian nach beiden Seiten nördlich und südlich einen Bogen der Erde in der Wüste *Singar* am arabischen Meerbusen, jeden in der Ausdehnung eines Grades, und fanden diesen die eine 56, die andere 56⅔ ihrer Meilen lang. Schon diese Ungleichheit beweiset genugsam den Mangel der Genauigkeit der ganzen Messung, deren Resultate aufserdem wegen der Unbestimmtheit des gebrauchten Mafses für uns gänzlich verloren sind. Die letztere Angabe wurde als die richtigere angenommen, und soll dabei nach Abulfeda die sogenannte schwarze Elle zu 27 Z. jeder von der Länge, welche 6 mit den Bäuchen an einander gelegte Gerstenkörner einnehmen, gebraucht seyn. Hiernach bringt Thevenot nach seinen Versuchen, die Gröfse dieser Elle wieder aufzufinden, heraus, dafs 4 Ellen 1 Toise 9 Z. betragen, wonach die Gröfse eines Grades 63750 Toisen seyn würde. Montucla will durch die Anwendung der gemeinen Elle 56000 Tois. herausbringen, welches der Wahrheit allerdings näher käme. Der Araber Abu Hassan Ali Almassoudi rechnet nur 5 Gerstenkörner auf einen Zoll, und bringt dann 53123 Tois. heraus. Die beiden letzteren Gröfsen sind zu klein, wogegen die erstere zu grofs ist.

Dafs man sich im Mittelalter um die Beantwortung der vorliegenden Frage überall nicht bekümmerte, ist aus der herrschenden Uncultur mehr als zu leicht erklärlich, indefs beweiset es sehr für die Wichtigkeit, welche man allezeit diesem Probleme beilegte, dafs mit dem 16ten Jahrhunderte sogleich nach der Wiederaufnahme der Wissenschaften die Untersuchungen über die Gestalt und Gröfse der Erde wieder angefangen wurden. Der als Mathematiker berühmte Arzt Fernel mafs mit grofser Mühe vermittelst der Umdrehungen eines Wagenrades im J. 1525 einen Grad der Breite zwischen Paris und Amiens, und fand dessen Länge = 57070 Toisen, ein Resultat, wel-

ches nicht völlig erwiesen ist, sonst aber eine solche Genauigkeit hat, daſs man sie mindestens zum gröſsten Theile dem Zufalle beimessen muſs[1].

Alle bisherigen Messungen wurden dadurch sehr erschwert, daſs der gemessene Bogen durchaus genau im Meridiane liegen sollte, obgleich schon PTOLEMÄUS bemerkt hatte, daſs dieses keineswegs erforderlich sey. Indeſs war der niederländische Geometer WILLEBRORD SCHNELLIUS der erste, welcher zeigte, wie die Länge des gesuchten Bogens durch Verbindung mehrerer Dreiecke, also durch eine eigentliche Triangulirung genau gefunden werden könne. Nach dieser Methode maſs er 1615 einen Bogen von 1° 11′ 30″ zwischen Alcmar und Bergen-op-Zoom, und fand hieraus die Länge eines Grades = 55021 Toisen[2]. PICARD's Messung zeigte nachher, daſs diese Bestimmung viel zu klein sey[3], allein MUSSCHENBROEK versichert, daſs SCHNELLIUS seinen Irrthum selbst eingesehen, die Messung verbessert, noch weiter bis Malinos ausgedehnt, und hiernach die Gröſse eines Grades = 57033 Toisen gefunden habe, welches allerdings ein sehr genaues Resultat seyn würde, an dessen Bekanntmachung ihn der Tod hinderte[4]. Bloſs aus einer Nachricht PICARD's ist eine Messung bekannt, welche G. J. BLEAU oder CÄSIUS gleichfalls in den Niederlanden anstellte. PICARD sah die Papiere dieser Messung auf seiner Reise nach Uranienburg in den Händen eines Verwandten dieses BLEAU, welcher 1638 starb, ein Schüler TYCHO's war, die Polhöhen der Endpuncte mit einem 12 füſs. Sector von 12° bestimmte, und vortreffliche Resultate erhielt. Die ganze gemessene Strecke wich nur 60 rheinl. Fuſs von PICARD's Bestimmung ab. Eine sehr mühsame Messung ist diejenige, welche NORWOOD 1635 in England anstellte, indem er den Bogen zwischen London und York vermittelst der Kette maſs, die Krümmungen und Erhöhungen reducirte, den Unterschied der Breite des Anfangs- und Endpunctes, vermittelst eines 5 füſs. Sectors = 2° 28′ fand, und hiernach die Länge eines Grades = 57424 Tois. bestimmte.

---

1 La Lande in Mém. de l'Acad. 1787. p. 216.

2 Eratosthenes Batavus u. s. w. L. Bat. 1617. 4.

3 Cassini in Mém. de l'Acad. 1702. p. 60.

4 Musschenbroek diss. de Magnit. Terrae. In diss. phys. Lugd. Bat. 1729. 4.

Ungleich schlechtere Resultate erhielten RICCIOLI und GRIMALDI bei ihren Bemühungen, die Gröfse der Erde zu finden. Der erstere insbesondere glaubte im Voraus, die Länge eines Grades müsse 81000 röm. Schritte betragen, und er summirte daher alle Fehler so sehr zusammen, dafs er dieselbe = 62650 Tois. fand[1].

Der grofse Mangel an Uebereinstimmung machte die Lösung dieser Frage noch wichtiger und interessanter, weswegen denn die neuerrichtete Akademie der Wissenschaften in Paris dem damals berühmten Geometer PICARD die Anstellung einer genauen Messung übertrug. Bei der Ausführung derselben befolgte dieser die Methode des SCHNELLIUS, und brachte zuerst Fernröhre mit Kreuzfäden auf den Winkelinstrumenten an. Im Jahre 1669 und 70 mafs er den Bogen zwischen *Amiens* unter 49° 54′ 46″ N. B. und *Malvoisine* unter 48° 31′ 48″, fand den Unterschied der Polhöhen = 1° 22′ 58″ und die Länge eines Grades = 57060 Toisen[2]. Nach dieser Angabe wurde die Gröfse der Erde bestimmt, und bei den Berechnungen von HUYGENS und NEWTON zum Grunde gelegt, worauf insbesondere der Letztere das Gesetz der allgemeinen Schwere gründete, auf welches er die Bewegung der Himmelskörper, überhaupt die ganze Mechanik des Himmels zurückzuführen suchte. Um zugleich den eigentlichen Standpunct, aus welchem diese Gegenstände damals betrachtet wurden, bestimmter aufzufassen, darf hierbei nicht unbeachtet bleiben, dafs NEWTON erst 1666 seine Untersuchungen der Gravitationsgesetze anfing, und gestützt auf die Resultate der Messungen PICARD's 1676 ernstlicher fortsetzte[3]. Man hatte also damals noch keineswegs deutliche Begriffe von der Schwungkraft, und war zum Theil noch geneigt, den Umlauf der Himmelskörper aus den Wirbeln des Aethers zu erklären, so dafs es bei der angestellten Gradmessung also zunächst nur darauf ankam, die eigentliche Gröfse der Erde genau kennen zu lernen. Es war daher ein wichtiges Ereignifs, dafs RICHER in *Cayenne* die Beobachtung des langsameren Ganges seiner Uhr machte, welches man zwar anfangs

---

1 S. Montucla a. a. O. II. 315.

2 Mésure de la Terre par Picard. Par. 1671. 8. Hist. de l'Ac. I. 85. vorzüglich VII. 1 ff.

3 Vergl. *Anziehung*. Th. I. S. 326.

aus einer Verlängerung des Pendels durch die Wärme ableitete, bald aber fand, dafs die hiernach zu machende Correction nicht hinreiche, das Phänomen zu erklären, und als Varin und Deshayes die nämliche Erscheinung an der africanischen Küste unter dem Aequator beobachteten, stellten Huygens und insbesondere Newton die Behauptung auf, es sey dieses eine Folge der durch die Rotation der Erde erzeugten Schwungkraft[1]. Wäre dieses zugestanden, so wäre damit zugleich das Gravitationsgesetz vollständig angenommen, und die Anhänger des Cartesius hätten ihr System aufgeben müssen, allein es dauerte noch über ein halbes Jahrhundert, bis dieser Sieg der Newtonianer, welchen vorzüglich Gregory, Keill, Maclaurin, Stirling, auch Hermann und Kraft führten, völlig errungen war.

Picard fand seine Messung selbst noch nicht genügend, und bei dem damals in Frankreich herrschenden wissenschaftlichen Streben wünschte er selbst nebst vielen andern eine genaue Charte von jenem Lande zu erhalten. Er schlug daher vor, die Messung im Meridiane von Paris durch ganz Frankreich auszudehnen, um hierdurch zugleich die wahre Gröfse und Gestalt der Erde zu finden. Der Minister Colbert, unsterblich durch seine Verdienste um Wissenschaft und Kunst, unterstützte das Vorhaben, welches auch wirklich durch Cassini und de la Hire 1680 angefangen wurde, allein Colbert's Tod und andere Hindernisse führten eine Unterbrechung herbei, und so folgte die Fortsetzung desselben erst 1700 durch Cassini den Zweiten und de la Hire. Aus der von Paris bis an die südliche Grenze des Reiches nach Collioure, also von 48° 50′ 10″ bis 42° 31′ 13″ ausgedehnten Messung[2] ergab sich die Gröfse eines Grades = 57097 Toisen nach Cassini, Maraldi, Couplet und Chazelles, und aus der von Paris bis Dünkirchen durch Cassini, Maraldi und den jüngeren la Hire vollendeten = 56960 Toisen, woraus also *gegen* Newton's theoretische, auf das Gesetz der allgemeinen Schwere und der Schwungkraft gestützte Behauptung eine gröfsere Länge der Erdaxe als des Erddurchmessers gefolgert wurde[3]. Dafs eben diese Meinung noch

1 Montucla. II. 576.

2 Hist. de l'Acad. 1718. p. 187. 1716. p. 245.

3 Eine ausführliche Beschreibung aller bis dahin gemachten Ver-

aufserdem durch Cassini's erste Messung von Längengraden unterstützt wurde, mag hier nur vorläufig erwähnt werden, indefs konnte dieses Alles Newton um seine Anhänger nicht von ihrer wohlbegründeten Meinung zurückbringen.

Um dem langen, mit vieler Lebhaftigkeit geführten Streite ein Ende zu machen, und die grofse Frage vollständig zu entscheiden, bewog insbesondere Maurepas den Minister, Cardinal Fleury, und den König, zwei Gradmessungen in hinlänglicher Entfernung von einander, nämlich unmittelbar unter dem Aequator und unter dem Polarkreise vornehmen zu lassen. Zuerst wurde die berühmte Peruanische Messung ausgeführt, und das hierbei gebrauchte Normalmafs, die sogenannte *Toise von Peru*, dient zum ewigen Andenken an diese mit Recht berühmte Unternehmung noch immer als normales Vergleichungsmafs in allen cultivirten Ländern. Die glänzende Expedition, bestehend aus den Geometern Bouguer und Condamine, dem Naturforscher Jussieu, dem Ingenieur Verguin, dem Zeichner Morainville, zwei Assistenten Couplet und Godin, dem Arzte Seniergue und dem Uhrmacher Hugo, reisete den 16ten Mai 1735 ab, und wurde von dem berühmten spanischen Gelehrten Don Antonio de Ulloa auf dem Schiffe des Don George Juan begleitet. So sehr indefs auch von der spanischen Regierung alles angeordnet war, um das Unternehmen nicht blofs möglich zu machen, sondern auch bestens zu befördern, so fanden dennoch die Akademiker weit gröfsere Schwierigkeiten, als sie erwartet hatten. In dem rauhen Klima der hohen Cordilleren mufsten sie sich zuweilen unter beschneieten Bergspitzen Monate lang aufhalten, um geeignetes Wetter abzuwarten. Hierzu kam die Rohheit und Ungefälligkeit der Gebirgsbewohner, mitunter fühlbarer Mangel an nothwendigen

---

suche enthält: Jacques Cassini de la Grandeur et de la Figure de la Terre. Suite des Mémoires de l'Acad. Roy. des Sciences. An. 1718. Par. 1720. 4. Vergl. Montucla II. 572. Auch Eisenschmidt folgerte aus der Zusammenstellung der Messungen von Snellius, Picard und Riccioli in Bologna mit den Angaben des Eratosthenes eine länglichte Gestalt der Erde. S. Joh. Casp. Eisenschmidt Diatribe de figura telluris. Argent. 1691. 8. In Frankreich suchte insbesondere auch Mairan die länglichte Gestalt der Erde aus verschiedenen Gründen darzuthun. S. Mém. de l'Ac. 1820, dagegen erklärte sich Joh. Bernoulli entschieden für Newton's Ansicht. S. Essai d'une nouvelle physique céleste. Par. 1735.

Bedürfnissen, so dafs die Messung selbst zwei Jahre erforderte. Indem sie dann aber ihren Aufenthalt noch zur Bestimmung der Strahlenbrechung und der Ablenkung des Bleilothes durch hohe Gebirgsmassen benutzen wollten[1], so kam Bouguer erst 1744, Condamine, welcher den Amazonenflufs herabfuhr, erst 1746 zurück, Godin sah 1746 die Zerstörung von Lima und Fort Callao, ging dann durch Peru, Tucuman und Paraguay nach Buenos Ayres, kam 1750 erst wieder in Frankreich an, war indefs den Spaniern so bekannt geworden, dafs man ihn zum Director der adlichen Cadetten zu Cadix ernannte, wo er seine Reisebeschreibung auszuarbeiten beabsichtigte, aber durch seinen 1760 erfolgten Tod daran gehindert wurde. Jüssieu botanisirte lange in jenen Gegenden und erweiterte seine Kenntnisse bedeutend, sammelte auch viele Merkwürdigkeiten, hat aber keine Reisebeschreibung bekannt gemacht. Er starb 1778. Seniergue wurde in Cuença ermordet, ohne dafs Condamine die Bestrafung der Thäter erwirken konnte. Die beiden Spanier fuhren um das Cap Horn, und Don Juan kam 1746 zurück, Ulloa aber wurde in dem damals bestehenden Kriege von den Engländern gefangen und fürchtete mit Recht den Verlust aller seiner Papiere und Sachen. Inzwischen bewies schon damals diese Nation ihre hohe und nachahmungswerthe Achtung gegen Wissenschaft und Gelehrsamkeit. Ulloa wurde gleich nach seiner Ankunft in London nicht blofs freigelassen, sondern mit grofser Auszeichnung behandelt, in die Societät aufgenommen, erhielt alle seine Papiere und Sachen zurück, und kam dadurch in den Stand, seine bekannte Reisebeschreibungen mit vielen schätzbaren physikalischen Bemerkungen herauszugeben[2].

Die Resultate dieser grofsen Operation sind zwar höchst bedeutend, und auf allen Fall wurde die Hauptfrage auf das bestimmteste durch dieselbe entschieden. Genau genommen schwebt aber über der ganzen Operation ein gewisses Dunkel, welches verhindert, dafs man die gefundene Gröfse eines Bogens unter dem Aequator nicht mit absoluter Sicherheit bei der Be-

1 Vergl. Th. I. S. 328.

2 Relacion historica del Viage a la America meridional. Por Don Jorge Juan y Don Ant. de Ulloa. Mad. 1748. 4 Vol. 4. Franz. Uebers. Voyage historique cet. Amst. 1752. 2 Vol. 4. Vergl. Montucla IV. 151.

rechnung der Figur unserer Erde zum Grunde legen kann. Beide Geometer bestrebten sich nämlich einander nicht bloſs in der Bekanntmachung der gewonnenen Ausbeute zuvorzukommen, sondern jeder suchte dabei zugleich sein eigenes Verdienst auf Unkosten seines Begleiters zu erheben. Dieses veranlaſste mehrere Streitschriften, bis sie einsahen, daſs hierdurch das Publicum gegen alle beide miſstrauisch werden müsse, und es daher am gerathensten fanden, sich nicht einander, damit aber zugleich sich selbst, zu schaden[1].

Ehe diese Operation beendigt war, brachte es Maupertuis bei dem Minister Maurepas dahin, daſs noch eine zweite Expedition zu einer Messung unter dem Polarkreise ausgerüstet wurde[2]. Maupertuis, Clairaut, Camus und Lemonnier, die Akademiker, und der Abbé Outhier, Eleve beim Observatorio in Paris, reiseten mit hinlänglichen Empfehlungsschreiben an den König von Schweden versehen ab, und kamen im Jul. 1736 im bothnischen Meerbusen an, wo sich Celsius zu ihnen gesellte, und sie durch das schwedische Gouvernement auf das beste unterstützt wurden. Sie fanden hier der Schwierigkeiten eine unglaubliche Menge, bestimmten aber dennoch bis zum Monate November den Bogen zwischen *Torneå* unter 65° 51′ 1″,5 und dem Berge *Kittis* jenseits das Polarkreises unter 66° 48′ 30″ zuerst astronomisch zu 57′ 28″,5, maſsen dann in zwei Abtheilungen eine Basis auf dem Eise des Torneå-Flusses

1 Relation abrégée cet. par Bouguer. Mém. de l'Ac. 1736. p. 569. 1744. p. 249. Relation abrégée cet. par de la Condamine ibid. 1746. p. 391. La Figure de la terre determinée par les observations de Mrs. Bouguer et de la Condamine. Par. 1749. 4. Mesure des trois premiers degrés du Méridien dans l'hémisphère austral. cet. par M. de la Condamine. Par. 1751. 4. Journal historique du voyage fait par ordre du Roi a l'équateur, cet. par de la Condamine Par. 1751. Justifications de plusieurs faits qui concernent les opérations des Academiciens à Perou cet. par Bouguer. Par. 1752. Supplément au Journal historique et au livre de la mésure des trois prem. degrés cet. par de la Condamine. Par. 1752. Lettre dans laquelle on discute divers points d'astronomie cet. und Reponse à la Lettre de Mr. Bouguer. Par. 1754. Vergl. v. Zach in Mon. Cor. XXVI. 39 ff.

2 Eigentlich hätte der gelehrte schwedische Astronom Celsius diese Messung dirigiren sollen, allein Montucla IV. 149. sagt: Maupertuis étoit agréable, il faisoit des chansons, il jouoit de la guitarre, et cela lui aida à obtenir la commission qu'il demandoit.

ses, welcher durch die Stadt fliefst, und fanden durch Messung der Entfernung beider bestimmten Puncte die Gröfse eines Grades unter dem Polarkreise = 57437 Toisen. Aus einer Vergleichung desselben mit der Gröfse eines Grades zwischen Paris und Amiens = 57060 ergab sich evident, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes elliptisches Sphäroid seyn müsse[1]. Eine Vergleichung mit der Länge eines Grades unter dem Aequator nach Bouguer = 56753 Toisen bestätigte dieses Resultat noch auffallender. Gleich nach der Beendigung dieser Operationen verbesserten Cassini de Thury, der Grofssohn des Dominicus, und Lacaille im J. 1740 die früheren Messungen von Picard und den Cassini's, entdeckten mehrere Fehler darin, welche zum Theil von ungleichen Toisen und den dadurch verursachten unrichtigen Bestimmungen der Standlinien herrührten. Hiernach fanden sie die Länge eines Bogens unter 45° der Breite = 57012 Toisen, wodurch im Allgemeinen sowohl die Gröfse als auch die Gestalt der Erde bestimmt war.

Die bisher erwähnten Unternehmungen hatten allgemein ein so grofses Aufsehen gemacht, dafs man auch an andern Orten mit grofsen geodätischen Operationen Gradmessungen verband, oder absichtlich solche unternahm, von denen aber nur wenige ein brauchbares Resultat gegeben haben, weswegen eine kurze Erwähnung derselben genügen wird. Im Jahre 1750 ging la Caille[2] nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung, um die südlichen Sterne zu beobachten, und die Mondsparallaxe zu bestimmen, benutzte aber zugleich eine geeignete Gegend zu einer Gradmessung um so mehr, als auf der südlichen Halbkugel noch keine solche vorgenommen war, und fand die Länge eines Grades unter 33° 18′ 30″ = 57037 Toisen, welches mit einer gleichförmigen Gestalt der Erde nicht übereinstimmt, und vielfach zur Unterstützung der Meinung einer Ungleichförmigkeit beider Halbkugeln benutzt ist. Obgleich wir keine anderweitige Messungen auf der südlichen Hemisphäre besitzen, so haben doch andere Untersuchungen die Unzuverlässigkeit

1 La Figure de la terre determinée par les observations de cet. par M. de Maupertuis. Amst. 1738. 8. Mém. de l'Ac. 1737. p. 389. Journal d'un voyage au Nord. par M. l'Abbé Outhier. Par. 1744. 4. De observationibus pro figura terrae determinanda cet. Auct. Celsio Ups. 1738. 4.

2 Mém. de l'Ac. 1751. p. 435.

dieser Gradmessung genügend dargethan, welche sich außerdem aus der zu kurzen aufgewandten Zeit von etwa zwei Monaten und der nicht hinlänglichen Feinheit der gebrauchten Instrumente genugsam erklären läfst[1]. Der Pabst Benedict XIV. liefs bei der Ausmessung des Kirchenstaates durch le Maire und Boscovich gleichfalls 1751 bis 53 zwischen *Rom* und *Rimini* eine Messung von fast zwei Graden unter 43° N. B. vornehmen. Die Länge eines Grades wurde hiernach = 56973 Toisen gefunden[2]. Nach den neuesten Bestimmungen der Polhöhen von *Rom* und *Rimini* durch Oriani, Conti und Calandrelli und nach späteren geodätischen Messungen kann das erhaltene Resultat auf die erforderliche Genauigkeit keine Ansprüche machen. Im Jahre 1768 mafs der bekannte Beccaria mit Hülfe des Canonicus Canonica in den hierzu sehr geeigneten Ebenen bei *Turin* unter 44° 44′ N. B. einen Grad, fand aber grofse Ungleichheiten bei der Annäherung an die Gebirge, und seine Bestimmung der Länge des Grades = 57024 Toisen ist also hiernach und nach späteren prüfenden Messungen nicht zuverlässig genug[3]. Sehr ausgedehnte Messungen stellte Liesganig an, von *Sobieschitz* nach *Warasdin*, von *Sobieschitz* und *Brün* nach *Wien*, von *Wien* nach *Grätz* und von *Grätz* nach *Warasdin*, bestimmte hiernach die Länge eines Grades unter 48° 43′ N. B. zu 57086 Toisen, und unter 45° 57′ N. B. zu 56881 Toisen[4]. Allein Pasquich und andere haben die von ihm astronomisch bestimmten Puncte controlirt und so fehlerhaft gefunden dafs seine Messungen hiernach ohne Werth sind[5]. Unter die minder brauchbaren Gradmessungen, welche aber nicht unbedeutendes geschichtliches Interesse haben, gehört die durch die Geometer in *China* unter der Leitung des Pa-

---

1 Mém. de l'Acad. 1751.

2 De litteraria expeditione per pontificiam dignitatem ad dimetiendos duos meridiani gradus et ad corrigendam mappam geographicam cet. Romae 1755. 4. Franz. Voyage astronomique et géographique dans l'état de l'église cet. par les PP. le Maire et Boscovich. Par. 1770. 4.

3 S. Gradus Taurinensis. Tur. 1774. 4. Vergl. v. Zach in Mon. Cor. XXVII. 272.

4 Dimensio graduum merid. Viennensis et Hungarici. Viennae 1770. 4. Vergl. Phil. Tr. 1768. p. 15.

5 Mon. Cor. VIII. 507. IX. 32. 120.

ter THOMAS auf Befehl des Kaisers CAMBY und im Beiseyn eines Chinesischen Prinzen schon im Jahre 1702 bei *Peking* bewerkstelligte, deren Resultate aber wegen der Unbestimmtheit des dabei gebrauchten Mafses für uns gänzlich verloren sind[1]. Weit schätzbarer dagegen ist diejenige, welche 1790 in Ostindien durch *Reuben Burrow* mit grofsem Fleifse, aber sehr mangelhaften Instrumenten bewerkstelligt, und nach seinem Tode durch seinen Gehülfen DALBY bekannt gemacht wurde. Er fand die Länge eines Grades unter 23° 18′ N. B = 56725,3 Toisen[2]. Endlich kann noch NOUET's Nachricht von seiner Gradmessung in Aegypten erwähnt werden, wonach ein Grad der Breite daselbst = 56880 Toisen gefunden wurde[3].

Unter allen bisher erwähnten Messungen von Breitengraden kann nur die eine unter dem Aequator zur Bestimmung der Gröfse und Gestalt der Erde benutzt werden[4]. Für ihre gröfsere Genauigkeit bürgen die lange Zeit und grofse Sorgfalt, welche darauf verwandt wurden, desgleichen der Umstand, dafs wirkliche Fehler ohne Zweifel durch die erwähnten Streitschriften zwischen BOUGUER und de la CONDAMINE aufgedeckt worden wären, welche auch allerdings manche in ihrem Vertrauen auf die Zuverlässigkeit der ganzen Operation wankend machten, im Ganzen aber mehr zum Vortheile als zum Nachtheile derselben entscheiden. Beide Gelehrte haben sich nämlich keine verschuldete oder unverschuldete Fehler vorgeworfen, sondern sie suchten nur gegenseitig ein jeder das Verdienst des andern zu schmälern, um das eigene in ein desto helleres Licht zu stellen. BOUGUER und CONDAMINE bestimmten zuerst den Unterschied der Breite von *Tarqui* und *Cotchesqui* zu 3° 7′ 1″, mafsen dann den Bogen des Meridians zwischen diesen beiden Orten, und reducirten ihn auf den Spiegel des Meeres. BOUGUER brachte hernach für die Länge eines Grades unter dem Aequator 56753 Toisen heraus, CONDAMINE aber nach seiner Berechnung 56750. GODIN und die beiden Spanier dagegen stellten eine ähnliche

1 Mon. Cor. I. 589. X. 522.

2 A short account of the late Mr. REUBEN BURROW's Mesurement of a degree of Longitude and another of Latitude near the tropic in Bengal cet. by J. DALBY. Lond. 1796. Mon. Cor. XII. 488.

3 Phil. Mag. XII. 208.

4 Vergl. Th. Grenus in Mon. Cor. XIII. 398. XVI. 238. v. Zach ebend. XXVI. 39.

Messung zu *Cuenza* und *Mira* an, und erhielten als Resultat aus der ganzen gemessenen Größse von 3° 26′ 52″ die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56768 Toisen. Mag man nun hierin zwei Resultate oder mit MONTUCLA[1] drei annehmen, so beweiset auf allen Fall die sehr genaue Uebereinstimmung die Zuverlässigkeit der gefundenen Bestimmung. Durch spätere Correctionen, insbesondere der Ausdehnung der gebrauchten Meſsstangen durch die Wärme ist die Gröſse desselben auf 56731,7 Toisen festgesetzt[2].

Zu den genaueren Messungen gehört ferner diejenige, welche ein Engländer und ein Americaner MASON und DIXON in den weiten Ebenen PENSILVANIENS 1764 bewerkstelligten. Die beiden astronomisch bestimmten Puncte lagen unter 38° 27′ 34″ und unter 39° 56′ 19″, hatten also einen Abstand von 1° 28′ 45″, und die ganze zwischenliegende Strecke wurde sorgfältig mit der Kette gemessen. Es war indeſs nicht möglich, hierbei stets der Richtung des Meridians zu folgen, sondern nachdem dieses auf einer Strecke von 104988,4 engl. F. geschehen war, muſste für den Rest von 434011,6 engl. Fuſs des Terrains wegen eine Neigung gegen die gerade Richtung des Meridians von 3° 43′ 30″ gewählt werden. BIOT[3] hat die Correction berechnet, welche deswegen für diese Länge erforderlich ist, und danach beträgt dann der ganze zwischenliegende Bogen 538077,94 engl. F., welches für einen Breitengrad unter 39° 11′ 56″,5 N. B. nach gehöriger Reduction 56888 Toisen giebt[4].

Auſser diesen beiden, so eben näher betrachteten Gradmessungen giebt es noch vier andere aus der neuesten Zeit, nachdem die Erfahrung über alle bei solchen schwierigen Operationen zu beobachtende Vorsichtsmaſsregeln genügende Aufklärung gegeben hatte, und durch die Fortschritte der Technik die dabei gebrauchten Instrumente auf einen sehr hohen, wenn man nicht sagen will, den höchsten Grad der Vollendung gebracht waren. Die kleinste von diesen, aber deswegen nicht minder wichtige und schwierige, ist die neue nordische unter dem Polarkreise. Eine genaue Revision der Bestimmungen

1 Hist. des Math. IV. 156.

2 Von Zach in Mon. Cor. XXVI. 39.

3 Traité élémentaire d'Astronomie phys. I. 426.

4 Biot a. a. O. I. 148.

Maupertuis's, hauptsächlich der Correctionen bei den gebrauchten Meſsstangen wegen der Temperatur, ergaben nämlich, daſs die zur Berechnung der Abplattung des Erdsphäroïd's so wichtige Bestimmung der Länge eines Grades unter dem Polarkreise der nöthigen Genauigkeit ermangele. Auf den Antrieb von Melanderhielm wurden daher 1801 bis 3 die jungen Geometer Swanberg, Ofverbom, Palander und Holmquist dorthin gesandt, welche durch Anstrengung und Beharrlichkeit die groſsen obwaltenden Schwierigkeiten glücklich überwanden, und von 1801 bis 1803 diese Messung mit groſser Sorgfalt wiederholten, wofür Swanberg den von La Lande ausgesetzten astronomischen Preis erhielt [1]. Die ganze Operation ist in allen ihren speciellen Theilen genau beschrieben [2], und hierdurch war es möglich, auch nachher die erforderlichen Correctionen wegen der so schwierigen Bestimmung der Ausdehnung und Zusammenziehung der gebrauchten Meſsstangen durch die ungleiche Temperatur vorzunehmen, wonach dann die Gröſse des Grades daselbst = 57209,28 Toisen [3] angenommen wird.

In England hatte schon der General Roy eine ausnehmend vollständige und zugleich sehr genaue, weit ausgedehnte, Triangulirung vorgenommen [4], wodurch die Längen der Grade unter verschiedenen Breiten gefunden werden können; die eigentliche Gradmessung mit möglichster Genauigkeit und vermittelst der vollendetsten Instrumente geschah durch Mudge von *Dunnose* auf der Insel *Weight* unter 50° 37′ 8″ an bis *Clifton* unter 53° 27′ 31″. Sie hat in allen späteren Prüfungen bestens bestanden, liefert aber als höchst unerwartete Resultate, wenn man sie unter sich vergleicht, die Länge eines Grades unter 51° 2′ 54″ = 57127,65 T. und unter 52° 50′ 29″,8 = 57017,06 T. im Mittel unter 52° 2′ 19″,8 dieselbe = 57069,8 Toisen [5].

Eine der gröſsten und wichtigsten Gradmessungen ist diejenige, welche der Major Lambton in Ostindien 1802 ange-

1 Mém. de l'Inst. IX. 230.

2 Swanberg exposition des opérations faites en Laponie pour la determination d'un arc du méridien cet. Stockh. 1805.

3 Vergl. Melanderhielm in v. Zach Mon. Cor. I. 372. II. 250. VII. 561. XII. 421. bis XIV. 327. Journ. de Ph. LVI. 400.

4 Phil. Trans. LXXX. 111.

5 Phil. Tr. 1803. p. 383. Vergl. Mon. Cor. XXIII. 241. XXV. 497.

stellt hat. Zuerst mafs derselbe von *Trivandeporum* unter 11° 44′ 52″,6 bis *Paudrée* unter 13° 19′ 49″, und fand hiernach die Länge eines Breitengrades unter 12° 32′ 20″,8 = 56763 Toisen[1]. Späterhin hat eben derselbe diese Messung noch weiter ausgedehnt, nämlich von 8° 9′ 38″,4 bis 18° 3′ 23″,6 und die Länge der Grade unter 9° 34′ 44″ N. B. = 60472,83 engl. Fathoms oder 56760,8 T.; unter 12° 2′ 55″ = 60487,56 Fathoms oder 56774,6 T. und unter 16° 34′ 42″ = 60512,78 Fathoms oder 56798,4 Toisen gefunden[2]. LAMBTON wurde indefs später durch die Bemerkungen des Kapitain KATER auf einige mögliche Fehler aufmerksam gemacht[3], unternahm daher eine nochmalige Revision der ganzen Messung, corrigirte insbesondere die zum Messen der Standlinie gebrauchten Stangen rücksichtlich ihrer Ausdehnung durch Wärme, und reducirte sie auf schärfer bestimmte Normalmafse, wonach er dann folgende corrigirte Werthe erhielt[4]:

N. B.		1 Grad in Fathoms		in Toisen
9° 34′ 44″	—	60477,09	—	56746,50
13 - 2 55	—	60490,31	—	56757,63
16 34 42	—	60511,65	—	56777,63

Nur eine einzige Gradmessung hat die eben genannte an Umfang übertroffen, nämlich die neue französische. Der Wunsch, ein von Frankreich vorzugsweise stets behandeltes Problem durch die ausgedehnteste Operation zur endlichen Entscheidung zu bringen, das Bestreben, die frühere Messung in Frankreich gründlich zu revidiren, insbesondere aber für die neue grofse Republik ein ewig unveränderliches Normalmafs zu erhalten, welches nur mit der Erde zugleich untergehen könnte, veranlafste im Jahre 1792 den Entschlufs, die stets denkwürdige und wahrhaft ungeheure Messung eines Meridians durch ganz Frankreich vorzunehmen, um hieraus die Länge eines ganzen Quadranten zu berechnen, und den zehnmillionsten Theil desselben unter dem Namen *Meter* als Normalmafs einzuführen.

Dafs der Entschlufs hierzu gefafst und die Ausführung des-

---

1 Asiat. Res. VIII. ausführl. ausgezogen in Bibl. Brit. XXXVII. 161. 245.

2 As. Res. XIII. Im Auszuge in Phil. Tr. 1813. II. p. 486.

3 Phil. Tr. 1821.

4 Phil. Trans. 1823. I. 27.

selben glücklich beendigt wurde zu einer Zeit, als die Schrekkensscenen der Revolution kaum beendigt waren, keine bleibend consolidirte Regierung den Staat lenkte und zahlreiche feindliche Heere von den Grenzen abgehalten werden mufsten, grenzt an das Unglaubliche, und wird für immer zum Beweise dienen, was diese Nation an und für sich und durch eigenen Impuls zu leisten vermag. Borda schlug vor, die von ihm aufs Neue empfohlenen Repetitionskreise hierbei anzuwenden, und die beiden berühmten Geometer Mechain und Delambre wurden beauftragt, das Unternehmen in Ausführung zu bringen[1]. Die Messung des nördlichen Bogens von *Rodez* bis *Dünkirchen* geschah durch de Lambre, und wurde zuerst beendigt, den südlichen Bogen dagegen von *Rodez* bis *Barcellona* mafs Mechain. Zwei Standlinien wurden gemessen, die eine bei *Melun* 6075,9 Tois. lang als Grundlage der ganzen Messung, die andere bei *Perpignan*, 6006,25 T. lang, als Controle. Die Messung geschah mit 4 Stangen von Platin, unter der Aufsicht von de Borda durch Lenoir mit gröfster Sorgfalt gearbeitet, mit einer parallel aufliegenden Stange Kupfer, um aus der ungleichen Ausdehnung der Metalle die Temperatur und zugleich die absolute Ausdehnung der ganzen Stangen zu finden[2], insbesondere aber wurde die Normalstange No. 1 sorgfältig mit der *Toise von Peru* und nachher auch mit der durch Maupertuis gebrauchten verglichen, um vollkommene Uebereinstimmung in diese drei Hauptmessungen zu bringen. Die äufsersten Puncte des ganzen gemessenen Bogens waren *Dünkirchen* unter 51° 2′ 10″,5 und der Thurm von *Montjouy* bei *Barcellona* unter 41° 21′ 44″,8, mithin betrug die ganze Länge desselben 9° 40′ 25″,7 und wurde = 1275792,36 Meters gefunden[3]. Die Mitte desselben lag unter 49° 11′ 58″, und um diese genau unter 45°, die Mitte des Quadranten, zu bringen, wünschte Mechain die Messung bis nach den Balearischen Inseln auszudehnen. Er selbst erlebte dieses aber nicht, sondern starb an den Folgen einer Verwundung, des Grams über die Lage seines Vaterlandes und der Hauptstadt, desgleichen zu grofser Anstrengungen in jenen ungesunden Gegenden. Das Nationalinstitut

1 Connaissance des Temps, an X.

2 Vergl. Th. I. S. 579.

3 Montucla, IV. 166.

übertrug daher im Jahre 1806 den hierdurch und auch nachher berühmt gewordenen, noch lebenden Gelehrten Biot und Arago die Ausführung dieser höchst schwierigen Messung[1]. Vom Berge *Mongo* in Spanien konnte die Insel *Formentera*, der äufserste Punct des gemessenen ganzen Bogens nur eben als eine kleine Insel gesehen werden. Signale auf beiden Puncten waren bei Tage nicht wahrnehmbar, denn die eine Seite des gemessenen Dreiecks betrug 160008 Meters[2], und es mufsten daher Lampen mit Reverberen des Nachts angezündet werden, welche lange nicht wahrgenommen wurden, bis man darauf verfiel, bei Tage schon die Fernröhre dahin zu richten, wo man dieselben zu erwarten hatte, worauf sie dann des Nachts als kleine Fixsterne sichtbar wurden. Der ganze Bogen von *Dünkirchen* nach der genauesten Bestimmung unter 51° 2′ 9″,55 bis *Formentera* unter 38° 39′ 56″,11 beträgt also 12° 22′ 13″,44 und hat eine Länge von 705188,8 Toisen, dessen Mitte unter 44° 51′ 2″,83 fällt[3].

In diesem Augenblicke sind einige Gradmessungen entweder beschlossen oder zum Theil wirklich schon vollführt, deren Resultate mir noch nicht bekannt sind. Dahin gehört eine schon weit gediehene Messung in Rufsland und Finnland durch Struve[4], Walbeck und Argelander, die grofse geodätische Operation in *Schwaben* durch von Bohnenberger, die Messung in *Holstein* durch Schumacher und insbesondere diejenige in *Niedersachsen*, welche den berühmten Astronomen Gauss schon einige Sommer hindurch beschäftigt hat.

Die Uebersicht der hier mitgetheilten verschiedenen Gradmessungen mufs zu der Ueberzeugung führen, dafs es von je-

1 Einen Auszug aus dem Mémoir über diese Messung, s. in Bibl. Brit. XLIII. 43 ff.

2 Biot. Ast. phys. I. 161.

3 Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques cet. par MM. Biot et Arago. Par. 1821. 4. Nach Walbeck in Diss. de forma et magnit. Telluris ex dim. arcubus meridiani definiendis. Aboae. 1819 sind die Breiten der Endpuncte 38° 39′ 56″,11 und 51° 28′ 39″,56, also der zwischenliegende Bogen 12° 48′ 43″,45 und die Länge des ganzen Bogens 730431,3 Tois. Vergl. Delambre Astron. III. 566. Zeitschrift für Astron. von v. Lindenau und v. Bohnenberger. III. 74.

4 Schumacher Astron. Nachr. 1824. No. 32 u. 33.

her, so lange überhaupt wissenschaftliche Beschäftigungen in Achtung standen, an einem grofsen Aufwande von Mühe und Kosten nicht gefehlt hat, um die Gestalt und Gröfse der Erde mit völliger Schärfe aufzufinden. Indem aber diese Aufgabe nicht in sich absolut unauflösbar, selbst nicht einmal besonders schwer erscheinen kann, weil es nur auf die Ausmessung eines, wenn auch grofsen, Körpers ankommt, so läfst sich mit Grunde erwarten, dafs durch die genannten grofsen und mit ausgezeichneter Sorgfalt ausgeführten Operationen die Gestalt der Erde uns vollkommen bekannt seyn müfste. Ist dieses nicht der Fall, wie eine nähere Prüfung bald ergeben wird, so müssen physische Hindernisse obwalten, welche auf die erhaltenen Resultate einen Einflufs haben, und durch die gröfste Genauigkeit der Werkzeuge und Sorgfalt bei den Operationen des Messens nicht völlig beseitigt werden können.

Bei der Berechnung der durch die verschiedenen Messungen erhaltenen Resultate pflegt man von der Voraussetzung auszugehen, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes elliptisches Sphäroid (ellipsoide de révolution) sey, durch Umdrehung um die kleine Axe der Ellipse entstanden. Zu dieser Annahme berechtigen sowohl verschiedene theoretische Gründe, als insbesondere auch die vorläufige Uebersicht der Resultate aus den Messungen. Hiernach kommt also die ganze Aufgabe darauf zurück, aus der Krümmung des elliptischen Meridians, wie diese an verschiedenen Orten gefunden ist, das Verhältnifs der beiden Axen zu finden. Es sind hierzu verschiedene Methoden der Berechnung in Vorschlag gebracht, welche im Wesentlichen darauf zurückkommen, die Meridiane als elliptische Bogen, deren halbe Axe $AC = b$ und halber Durchmesser $EC = a$ seyn mag, zu betrachten, und den Unterschied beider, desgleichen die absolute Länge eines derselben aus einzelnen gemessenen Graden nach den Eigenschaften der Ellipse zu bestimmen. Eine der leichtesten Methoden der Berechnung ist die durch MAUPERTUIS[1] angegebene, welche nachher durch L. EULER und nach diesem durch ROUMOVSKY[2] ausführlicher Fig. 170.

1 Figure de la Terre. p. 147. Mém. de l'Acad. 1734. p. 93.

2 Nov. Act. Pet. XIII. 407. Eine dieser ähnliche Formel findet man in Phil. Tr. 1818. II. p. 498. eine hiervon verschiedene elegante Methode zeigt LITTROW in: Theoretische und praktische Astronomie. Wien 1821. II Vol. 8. I. 333.

dargestellt wurde. Sind hiernach die Längen der gemessenen Grade g und G, die ihnen zugehörigen geographischen Breiten ψ und φ, so ist der Unterschied beider Axen

$$\delta = \frac{G - g}{3(G . \text{Sin.}^2 \varphi - g \, \text{Sin.}^2 \psi)}$$

welches, die grofse Axe als Einheit angenommen die Abplattung giebt.

Diese Formel wird für unsern Zweck genügen, um zu versuchen, wie genau die vorliegende Frage über die eigentliche Gestalt der Erde bisher durch die verschiedenen Messungen entschieden ist; denn die folgenden Betrachtungen werden ohnehin zeigen, dafs nicht sowohl die Methode der Berechnung, als vielmehr die Unsicherheit der zum Grunde liegenden Gröfsen eine noch immer herrschende Ungewifsheit veranlafst. In gröfster Allgemeinheit ist das Problem, aus gemessenen Meridiangraden die Gestalt der Erde zu bestimmen, durch La Place untersucht[1]. Dieser nimmt die Gradmessungen in *Peru*, am dem *Cap*, in *Pensilvanien*, die *italienische*, die neue *französische* bis *Barcellona* und die *Oesterreichische* in Rechnung und findet danach die Abplattung $= \frac{1}{277}$. Wird die Berechnung so angestellt, dafs die Summe der bei den Messungen begangenen Fehler = 0 werde, so folgt aus allen diesen Messungen eine Abplattung von $\frac{1}{312}$. Die Messungen von *Dünkirchen* bis *Montjouy* für sich berechnet geben nach La Place eine Abplattung $= \frac{1}{150,6}$. allein er bemerkt dabei sogleich, dafs diese Gröfse weder mit dem Gesetze der Schwere noch mit den Erscheinungen der Präcession und Nutation übereinstimme, welche keine gröfsere Abplättung als $\frac{1}{230}$ gestatten. Indem nun die bei der französischen Messung begangenen Fehler, wenn man aus derselben diesen Werth ableiten wollte, gröfser seyn müfsten, als sie nach der Wahrscheinlichkeit bei so genauen Operationen seyn können, so vermuthet La Place, dafs die

1 Méc. cél. Liv. III. vorzüglich Chap. 4. u. 5.

Erde überhaupt in Folge ungleicher Dichtigkeit nicht regelmäfsig gekrümmt sey [1].

Sehr ausführlich ist die Aufgabe, aus gemessenen Graden die Krümmung des Erdellipsoids zu finden, durch L. Puissant behandelt [2], allein die Entwickelung der von ihm gegebenen Formel ist viel zu weitläuftig, als dafs sie eine Mittheilung gestattete. Indefs findet man daselbst keine Vergleichung aller oder mindestens der genaueren Gradmessungen, um hieraus die Abplattung zu bestimmen, sondern blofs diejenigen Berechnungen, welche sogleich nach der Beendigung des ersten Theils der grofsen französischen Messung angestellt wurden, nämlich eine Vergleichung dieser letzteren und der peruanischen, woraus die Abplattung $= \frac{1}{334,29}$ oder schlechtweg $= \frac{1}{334}$ gefunden ist [3]. Delambre unterwarf indefs sowohl die peruanische Messung als auch die französische von *Dünkirchen* bis *Barcellona* einer genauen Revision, und erhielt dann aus der Vergleichung dieser beiden Bogen eine Abplattung von $\frac{1}{308,6}$, statt dessen Puissant durch Verbesserung eines kleinen Rechnungsfehlers $\frac{1}{309,6}$ findet [4]. Dieses Resultat stimmt ziemlich genau mit demjenigen überein, was Le Gendre [5] aus der Vergleichung des Grades in *Peru* und des in *Frankreich* von *Dünkirchen* bis *Paris* gemessenen fand, nämlich dafs die Abplattung $\frac{1}{305}$ betrage.

Eine ausführliche Abhandlung über die Bestimmung der Gestalt des Erdsphäroids aus Gradmessungen nebst einer Vergleichung mit demjenigen, was Präcession, Nutation und Monds-

---

1 a. a. O. Chap. 5. §. 41.

2 Traité de géodésie, ou exposition des méthodes trigonométriques et astronomiques, cet. 2me ed. Paris 1819. II vol. 4. I. ch. XII. u. XIII. p. 254. ff. Eine kurze und elegante Methode von ebendemselben findet man in Férussac Bullet. des Sciences Math. cet. 1825. Fév. p. 74.

3 Base du Système métrique. Par. III vol. 4. Vergl. Mém. de l'Inst. II. 43.

4 Base Métrique. III. 112. Puissant a. a. O. 278.

5 Mém. de l'Ac. 1789. p. 422.

gleichungen geben, hat von Lindenau mitgetheilt[1]. Er legt hierbei die von La Place gewählte Methode zum Grunde, wonach vorausgesetzt wird, dafs bei einem regelmäfsigen elliptischen Sphäroide die Zunahmen der Meridiangrade den Quadraten der Sinus der Breite proportional sind, wonach also die allgemeine Gleichung für irgend einen Meridiangrad wird:

$$z + y \text{ Sin.}^2 \text{ lat.} = M^\circ.$$

die durch von Lindenau in Rechnung genommenen Messungen sind die *Peruanische*, die beiden *Ostindischen* von R. Burrow und die erste von Lambton, die in *Pensilvanien*, *Italien*, *Frankreich*, *Oesterreich*, *England* und *Lappland* ausgeführten. Mit La Place's Berechnung verglichen, läfst er also die auf dem *Cap* weg, und führt dagegen die beiden Ostindischen, die Englische und die Lappländische ein. Aus allen vereinigt findet er unter der angegebenen Voraussetzung

$$y = 563{,}72;\ z = 56723{,}83 \text{ Tois.}$$

folglich $M^\circ = 56723{,}83 + 563{,}72 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$ woraus die Excentricität $= 0{,}006571$ und die Abplattung $= \frac{1}{304}$ mit nicht unbedeutenden Abweichungen der einzelnen Gröfsen von diesem mittleren Werthe aus allen, folgt[2]. Werden z. B. die drei zuverlässigsten neueren Messungen, die französische, die englische und die nordische mit einander nach der nämlichen Methode berechnet, so findet v. Lindenau die Abplattung $= \frac{1}{3..}$ die beiden americanischen dagegen geben gar $\frac{1}{500}$. Aus den französischen für sich findet v. Lindenau $\frac{1}{155}$, welches von dem durch La Place gefundenen $= \frac{1}{150}$ und von Le Gendre $= \frac{1}{14.}$ nicht merklich abweicht[3]. Das auffallendste Resultat giebt aber

1 Mon. Cor. XIV. 113. 309.

2 Nach der bei der Berechnung durch v. Lindenau zum Grunde liegenden Gröfse beträgt ein Grad unter dem Aequator 56753,5 Tois. also mit Bouguer's Angabe genau übereinstimmend. Nach den von andern angebrachten Correctionen ist derselbe kleiner.

3 Eben dieses letztere Resultat erhält Puissant. S. Traité de Géodésie. II. 248. Später in Cor. astron. par le Baron de Zach. cei. 1 cah. 2 findet v. Lindenau aus den Graden in Peru, Asien, Frank-

die *englische Gradmessung*, welche mit so aufserordentlicher Genauigkeit angestellt ist, dafs sie vorzugsweise zur Entscheidung der untersuchten Frage dienen müfste. Die Resultate derselben sind gleichfalls durch v. LINDENAU zuerst nach der Methode der kleinsten Quadratsummen berechnet[1], und nachher hat ebenderselbe die ganze Operation in allen ihren einzelnen Theilen untersucht, und folgende Werthe der einzelnen Gradlängen erhalten[2]:

Namen der Orte	Mittlere Breite	Länge eines Grades
Arbury-Hill — Clifton	52° 50′ 29″,9	57016,7 Tois.
Blenheim — Clifton	52 38 59,7	57020,1 —
Greenwich — Clifton	52 28 5,6	57043,6 —
Dunnose — Clifton	52 2 19,9	57069,8 —
Arbury-Hill — Greenwich	51 51 3,9	57095,2 —
Dunnose — Arbury-Hill	51 25 18,2	57108,9 —
Blenheim — Dunnose	51 13 48,1	57134,1 —
Dunnose — Greenwich	51 2 53,9	57108,2 —

Eine Vergleichung dieser Gröfsen unter sich giebt als höchst anomales Resultat eine Aequatorialabplattung von $\frac{1}{55}$, welches mit einer Zusammmenstellung aller übrigen Messungen eben so wenig als mit einer Verbindung irgend einer derselben mit dieser englischen vereinbar ist. Namentlich giebt ein Grad in Frankreich unter 45° N. B. = 57007,7 T. mit dem mittleren Werthe aus der englischen Gradmessung unter 52° 2′ 20″ = 57069,8 T. eine Abplattung von $\frac{1}{334}$. Indem aber die erwähnten Anomalien unmöglich aus Beobachtungsfehlern erklärlich sind, so folgerte MUDGE[3], dafs das Bleiloth als Folge irregulärer Anziehungen der Erde eine Ablenkung nach Süden erhalten haben müsse, indem schon NEWTON[4] bewiesen habe, dafs

reich, England und Schweden den mittleren Grad = 57001,7 Tois. und die Abplattung = $\frac{1}{313}$.

1 Mon. Cor. XIV. 138.

2 Mon. Cor. XXVI. 109.

3 Phil. Tr. 1803. II.

4 Phil. nat. pr. math. III. prop. 20.

ungleiche Dichtigkeiten der Erdschichten eine Ablenkung des Lothes zu bewirken geeignet seyen. Eben diese Ansicht hegt v. LINDENAU, und folgert hieraus, daſs Gradmessungen überhaupt zur Bestimmung der Gestalt unserer Erde unzureichend sind, wenn wir nicht annehmen wollen, daſs dieselbe ein unregelmäſsiger Körper sey. Anderer Meinung hierüber ist RODRIQUEZ[1]. Zwar findet er allerdings das durch MUDGE erhaltene Resultat höchst auffallend, gelangt aber zu etwas anderen Werthen durch eine neue Berechnung nach DE LAMBRE's Formeln. Hierbei ist ihm das Verhältniſs[2] des englischen Fuſses zum französischen = 4 : 4,263, und wenn hiernach der ganze gemessene Bogen reducirt wird, so beträgt die Länge eines in der Mitte desselben liegenden Grades unter 52° 2′ 20″ N. B. = 57073,74 Toisen oder 60826,34 Fathoms bei 16°$\frac{2}{3}$ C. und eben so eines Grades am südlichsten Ende unter 51° 25′ 21″ = 57068,41 Toisen, am nördlichsten Ende aber unter 52° 50′ 32″ = 57080,7 Toisen, welches mit der Theorie weit besser übereinstimmt. Den Fehler, welchen MUDGE begangen haben soll, sucht RODRIQUEZ in unrichtigen Bestimmungen der Polhöhe ohngefähr in der Mitte des ganzen gemessenen Bogens, und schätzt ihn auf etwa 5″, indem übrigens die Messung im Ganzen mit der Berechnung nach der angenommenen Abplattung = $\frac{1}{306}$ bis auf die Differenz von 1″,38 übereinstimmt. Eben deswegen ist er nicht geneigt, der Vermuthung MUDGE's beizutreten, wonach eine Ablenkung des Lothes jene widersprechenden Resultate hervorgebracht haben soll. — Alle solche willkührliche Aenderungen aber, um die Messungen einer angenommenen Hypothese anzupassen, können den unbefangenen Forscher nicht befriedigen.

Eben diejenigen Grade, welche VON LINDENAU in Rechnung genommen hat, sind auch durch v. BOHNENBERGER dazu angewandt, um das Verhältniſs zwischen Axe und Durchmesser des elliptischen Erdsphäroids zu finden[3]. Indem aber die von ihm gebrauchte Formel mit andern Bestimmungen von Di-

1 Phil. Trans. 1812. p. 321. Vergl. einen Auszug in Con. des Tems 1816. p. 256.

2 Dieses ist bis auf eine geringe Kleinigkeit richtig. Vergl. *Maſs.*

3 Astronomie. 187. ff.

mensionen auf der Oberfläche der Erde zusammenhängt, wovon ich später Gebrauch machen werde, so wird es am besten seyn, Folgendes vorauszuschicken.

Wird, wie oben geschehen ist, der halbe Durchmesser der ellipsoidisch angenommenen Erde $= a$, die halbe Axe $= b$ und $\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$ gesetzt; der halbe Parameter der grofsen Axe $= p$, die Normale $= N$ genannt, so ist für einen elliptischen Erdmeridian nach den Eigenschaften der Ellipse Fig. 170.

$$N^2 = \frac{p^2}{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}}$$

Es verhält sich aber der Krümmungshalbmesser der Ellipse für den Punct der Normale zu dieser Normale wie $N^2 : p^2$; und wenn man also diesen Krümmungshalbmesser durch R bezeichnet, so ist

$$R = \frac{N^2}{p^2} \times N = \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat}).^{\frac{3}{2}}}$$

Da sich aber so kleine Bogen wie die Krümmungshalbmesser verhalten, so ist für die den Polhöhen φ und ψ zugehörenden Gradbogen g und G

$$g : G = \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} : \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi)^{\frac{3}{2}}}$$

$$= (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi)^{\frac{3}{2}} : (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi).^{\frac{3}{2}}$$

$$g^{\frac{2}{3}} : G^{\frac{2}{3}} = 1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi : 1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi$$

Es ist also

$$G^{\frac{2}{3}} - G^{\frac{2}{3}} e^2 \text{ Sin.}^2 \psi = g^{\frac{2}{3}} - g^{\frac{2}{3}} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi$$

woraus 1) $e^2 = \frac{G^{\frac{2}{3}} - g^{\frac{2}{3}}}{G^{\frac{2}{3}} \text{ Sin.}^2 \psi - g^{\frac{2}{3}} \text{ Sin.}^2 \varphi}$.

Ist hieraus e^2 gefunden, so ist aus

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \text{ auch } \frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2$$

und das Axenverhältnifs $b : a = \sqrt{1 - e^2} : 1$, wodurch die Abplattung gefunden wird. Um mit gewöhnlichen Logarithmen von 7 Decimalstellen e^2 noch genauer als durch die Formel No. 1 zu finden, setzt v. Bohnenberger

$$\frac{G-g}{3G}=D \text{ und } \frac{\text{Sin.}\,\varphi}{\text{Sin.}\,\psi}\left(\frac{g}{G}\right)^{\frac{1}{3}}=\text{Cos. } u.$$

in dieselbe, wonach dann

$$e^2\,\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u=1-(1-3D)^{\frac{2}{3}}$$
$$=2D+D^2+\tfrac{4}{3}D^3+\ldots\ldots$$

$$2)\ e^2=\frac{2D}{\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u}+\frac{D^2}{\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u}+\frac{4D^3}{3(\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u)}+\ldots$$

wobei das dritte Glied schon füglich vernachlässigt werden kann. Indem aber $\frac{b^2}{a^2}=1-e^2$ also $\frac{b}{a}=\sqrt{1-e^2}$ ist, so giebt das letzte Glied in eine Reihe entwickelt

$$\frac{b}{a}=1-\tfrac{1}{2}e^2-\frac{1}{2.4}e^4-\frac{1.3}{2.4.6}e^6-\ldots\ldots$$

also $$\frac{a-b}{a}=\tfrac{1}{2}e^2+\frac{1}{2.4}e^4+\frac{1.3}{2.4.6}e^6+\ldots\ldots$$

Liegt der eine gemessene Grad unter dem Aequator, so ist seine Breite $\varphi=0$ und sein Krümmungshalbmesser $R=p$. Es ist aber $g:G=p:R$, folglich

$$3)\ G=\frac{gR}{p}=\frac{g}{(1-e^2\,\text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}}$$
$$=g\left(1+\tfrac{3}{2}e^2\,\text{Sin.}^2\psi+\frac{3.5}{2.4}e^4\,\text{Sin.}^4\psi\right.$$
$$\left.+\frac{3.5.7}{2.4.6}e^6\,\text{Sin.}^6\psi+\ldots\right)$$

und umgekehrt

$$4)\ g=\frac{Gp}{R}=G\,(1-e^2\,\text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}$$
$$=G\left(1-\tfrac{3}{2}e^2\,\text{Sin.}^2\psi+\frac{3.1}{2.4}e^4\,\text{Sin.}^4\psi\right.$$
$$\left.+\frac{3.1.1}{2.4.6}e^6\,\text{Sin.}^6\psi+\ldots\right)$$

woraus für einen gegebenen Werth von e aus jedem gemessenen Grade jeder andere berechnet werden kann.

Ehe indeſs überhaupt eine Berechnung der Abplattung angestellt werden kann, wird hauptsächlich erfordert, die Gradmessungen vorher genau zu prüfen, damit nicht durch unrichtige Grundbestimmungen falsche Resultate erhalten werden. Daſs dieses indeſs einen weit gröſseren Aufwand von Zeit und Mühe

erfordere, auch auf eine weit umfassendere Arbeit führen würde, als hier am rechten Orte wäre, leidet keinen Zweifel, und es kann daher nur dasjenige mitgetheilt werden, was bishero von andern geschehen ist[1]. Aus diesem folgt aber, dafs verschiedene Gradmessungen ganz ausgeschlossen werden müssen, und es bleiben daher nur etwa folgende für die Berechnung brauchbar.

1. Die *Peruanische*. Diese ist durch Delambre[2] und von Zach[3] sehr genau revidirt, und hiernach ist die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56731,7 Toisen.

2. Die drei *Ostindischen* nach der letzten Revision durch Lambton.

3. Die *französische*. Von dieser liefse sich allerdings bei dem grofsen, derselben gewidmeten Aufwande eine ganz vorzügliche Genauigkeit erwarten, und diese ist ihr auch wohl im Ganzen nicht abzusprechen. Es scheint ferner, als ob der geodätische Theil derselben keinen weiteren Zweifeln unterliegt, auch ist der südlichste Endpunct mit gröfster Schärfe bestimmt; allein Biot, von welchem wir eben diese Bestimmung haben, sagt zugleich, dafs er die Vergleichung des ganzen in Frankreich gemessenen Bogens, mit den Messungen in Indien, England und Lappland so lange versparen müsse, bis die vom Bureau des Longitudes beschlossene Verificirung der Polhöhe von Dünkirchen ausgeführt seyn würde[4]. Indefs läfst sich nicht erwarten, dafs diese Bestimmung bedeutend unrichtig seyn sollte, und da aufserdem ein kleiner Fehler sich über den ganzen gemessenen Bogen ausdehnt, so kann hierdurch das Resultat nicht merkbar unrichtig werden. Wir müssen aufserdem bei der Voraussetzung einer regelmäfsigen Krümmung der Erdmeridiane, worauf die ganze Hypothese gebauet ist, annehmen, dafs die

---

1 Eine der neuesten Arbeiten über diesen Gegenstand ist von Timmerman's: Diss. astron. math. de figura Terrae cet. Gandae 1822. 4. Darin sind allerdings elegante Formeln zur Berechnung mitgetheilt, allein blofs die älteren Messungen uncorrigirt aufgenommen, wonach denn die Abplattung aus Gradmessungen $= \frac{1}{314}$ und aus Pendellängen $= \frac{1}{320}$ gefunden wird.

2 Base metr. III. 112.

3 Mon. Cor. XXVI. 89.

4 Recueil d'Observations cet. p. 440.

nördlicheren Grade des ganzen Bogens den mittleren um ebensoviel übertreffen, als die südlicheren kleiner sind. Diesemnach fällt die Mitte des ganzen gemessenen Bogens in 44° 51′ 2″,83 und die Länge eines Grades unter dieser Breite beträgt gewifs mit grofser Zuverlässigkeit 57006,14 Toisen.

4. Die *englische* Gradmessung kann zwar wegen des nachgewiesenen Widerspruches der erhaltenen Gröfsen unter sich mit allen andern Messungen und mit der Theorie kein absolut zuverlässiges Resultat darbieten. Wenn man indefs die grofse Genauigkeit derselben berücksichtigt, so verdient sie keineswegs ausgeschlossen zu werden, indem es blofs darauf ankommt, die Gröfse eines Grades unter der mittleren Polhöhe der ganzen Messung zu kennen, wobei sich dann die Fehler wenigstens zum Theil auf das Ganze vertheilen und dadurch geringer werden. Der Werth dieser Gröfse ist oben so angegeben, wie er aus der Messung unmittelbar abgeleitet wurde, und eben diesen giebt auch von Lindenau[1] als das Resultat seiner sehr genauen Berechnung an, nämlich die Länge eines Grades unter 52° 2′ 20″ N. B. = 57069,8 Tois. Mit einer nur unbedeutenden Abweichung werden neuerdings[2] für einen Grad unter dieser Breite 60824,26 Fathoms oder 57071 Toisen angenommen.

5. Endlich darf auch die *neueste nordische* nicht blofs nicht ausgeschlossen werden, sondern sie ist vielmehr von vorzüglicher Wichtigkeit, theils weil sie die Gröfse eines Grades im hohen Norden angiebt, theils weil sie auf vorzügliche Genauigkeit nicht ganz ungegründete Ansprüche machen darf. Indefs ist die Frage, wie grofs ein Grad unter jener Breite wirklich sey? Nach den mir zu Gebote stehenden Hülfsmitteln, und ohne dafs es aus den oben angegebenen Gründen hier zulässig ist, eine neue und vollständige Revision der Messung vorzunehmen, läfst sich darüber Folgendes sagen. Das durch Maupertuis gefundene Resultat, wonach ein Grad unter 66° 19′ 34″ N. B. = 57422 Toisen betragen sollte, ist ganz unzulässig. Die schwedischen Geometer Swanberg, Ofverbom, Palander und Holmquist dehnten die Messung noch bedeutend weiter aus, nämlich von Malörn unter 65° 31′ 32″,14 bis Pahtavara unter 67° 8′ 51″,53. Die Amplitudo des ganzen gemessenen Bogens

1 Mon. Cor. XXVI. 130.

2 Phil. Tr. 1823. I. 27.

betrug daher 1° 37′ 19″,39, wovon die Mitte unter 66° 20′ 12″ fällt, und nach Melanderhielm[1] 57209,28 Toisen beträgt, welche Gröſse auch oben angenommen ist. Bohnenberger[2] nimmt bei seiner Berechnung nur 57188,42 T. an, von Lindenau[3] aus Swanberg's Bericht und nach einigen späteren Correctionen wegen der Temperatur der Meſsstangen 57196,18 Tois., welche Bestimmung oben mitgetheilt ist. Nach Lambton's Berechnung beträgt die Gröſse desselben 60955 Fathoms, welches reducirt[4] 57193,62 Toisen ausmacht[5]. Wenn ich indeſs in Ueberlegung ziehe, daſs früher ein Axenverhältniſs von 333 zu 334 sehr allgemein angenommen wurde, und man hierdurch geneigt seyn konnte, den Lappländischen Grad etwas kleiner zu finden, so scheint es mir am geeignetsten, die erste, aus der unmittelbaren Messung durch genaue Berechnung und mit Rücksicht auf die erforderlichen Correctionen gefundene Gröſse beizubehalten, und hiernach also den Grad unter 66° 20′ 12″ N. B. zu 57209,28 Toisen anzunehmen. Eine Zusammenstellung dieser Gröſsen giebt dann folgende Uebersicht.

Beobachter	Nördliche Breiten			Länge eines Grades
Bouguer u. Condamine	0°	0′	0″	56731,70 Toisen
Lambton . . . a)	9°	34	44	56746,50
— b)	13	2	55	56757,63
— c)	16	34	42	56777,63
Delambre, Mechain, Biot, Arago	44	51	3	57006,14
Mudge	52	2	20	57070,00
Swanberg u. Ofverbom	66	20	12	57209,00

Werden diese Gröſsen nach der bequemen, und für unsern Zweck genügenden Formel von Maupertuis in Rechnung genommen, so geben sie folgende Werthe für die Abplattung des elliptischen Erdsphäroid's.

1 Mon. Cor. VII. 566.
2 Astronomie. S. 196.
3 Mon. Cor. XIV. 131.
4 Vergl. *Maſs*.
5 Phil. Trans. 1823. I. 27.

Verglichene Grade		δ	Abplattung
Peruanische und Ostindische a	—	0,00313954	$\frac{1}{318,5}$
— — — b	—	0,00298740	$\frac{1}{334,7}$
— — — c	—	0,00331220	$\frac{1}{301,9}$
— — Französische	—	0,00322630	$\frac{1}{309,9}$
— — Englische	—	0,00317870	$\frac{1}{314,6}$
— — Lappländische	—	0,00331506	$\frac{1}{301,6}$
Ostindische a und Französische	—	0,00323140	$\frac{1}{309,4}$
— — Englische	—	0,00318080	$\frac{1}{314,3}$
— — Lappländische	—	0,00332100	$\frac{1}{301,1}$
Ostindische b und Französische	—	0,00325350	$\frac{1}{307,3}$
— — Englische	—	0,00319568	$\frac{1}{312,9}$
— — Lappländische	—	0,00333607	$\frac{1}{299,7}$
Ostindische c und Französische	—	0,00320962	$\frac{1}{311,5}$
— — Englische	—	0,00315870	$\frac{1}{316,3}$
— — Lappländische	—	0,00331536	$\frac{1}{301\ 6}$
Französische und Englische	—	0,00298895	$\frac{1}{334,5}$
— — Lappländische	—	0,00344330	$\frac{1}{290,4}$
Englische und Lappländische	—	0,00370154	$\frac{1}{270,1}$
Mittel	—	0,00324973	$\frac{1}{307,7}$

Dieses mittlere Resultat stimmt ziemlich nahe mit demjenigen überein, welches die peruanische Messung mit der französischen giebt, und welches von DE LAMBRE und von v. ZACH gleich groſs gefunden ist[1]. Eine Vergleichung der einzelnen Werthe unter einander zeigt, daſs die englische Messung die gröſsten Abweichungen von dem mittleren Resultate giebt, welche aber einander entgegengesetzt sich wieder compensiren, die aus der französischen und aus der lappländischen gefundene Abplattung kommt aber derjenigen am nächsten, welche die neuesten Pendelmessungen gegeben haben. Auſserdem giebt die Zusammenstellung des zweiten Ostindischen Grades mit dem Peruanischen ein auffallend abweichendes Resultat. Es scheint mir weniger der Sache angemessen, diese Abweichung von einer unregelmäſsigen Krümmung der Erde abzuleiten, als vielmehr einen Fehler in der Messung, namentlich in den Breitenbestimmungen beizulegen, weil dieser Grad gerade zwischen zwei sehr genau übereinstimmenden liegt. Werden aber die aus diesen Graden abgeleiteten Bestimmungen der Abplattuug weggelassen, so ist dieselbe nach dem mittleren Resultate $=0{,}00327931$ oder $=\frac{1}{304{,}9}$.

Bei der im Ganzen geringen Abweichung der Resultate aus genauen Messungen mit diesem mittleren Werthe wird es doch mindestens wahrscheinlich, daſs unsere Erde ein regelmäſsig gekrümmtes elliptisches Sphäroid (ellipsoide de révolution) sey, dessen Gröſse und Gestalt allerdings durch genaue Messungen an geeigneten Orten, vorzüglich in flachen Gegenden mit wenigstens sehr genäherter Genauigkeit bestimmt werden könnte.

Zum Beschlusse dieser Untersuchung möge es noch erlaubt seyn, das gefundene Resultat mit einigen von anderen erhaltenen zu vergleichen. RODRIGUEZ[2] findet aus einer Zusammenstellung der Gradmessungen am *Aequator*, in *Bengalen*, *Frankreich* und *Lappland* im Mittel $=\frac{1}{312{,}5}$. LAMBTON[3] erhielt

---

1 Mon. Cor. XXVI. 58. Vergl. La Place Méc. Cél. T. V. Liv. XI. p. 13.

2 Phil. Tr. 1812. 321. Bohnenberger und v. Lindenau Zeitschrift für Astron. III. 76.

3 Phil. Tr. 1818. II. 503.

anfänglich aus dem von ihm gemessenen Grade verglichen m[it] der Französischen Messung $\frac{1}{309,5}$, mit der Englischen $\frac{1}{313,4}$ und mit der Schwedischen $\frac{1}{307,9}$; wonach also die mittler[e] Abplattung $= \frac{1}{310,3}$ seyn würde. Nach einer späteren Revision und neuen Berechnung erhält ebenderselbe[1] folgende Resultate aus den drei angegebenen Bestimmungen seiner Messung in Bengalen:

mit der Französischen	$\frac{1}{310,07}$;	$\frac{1}{309,64}$;	$\frac{1}{313,73}$	Mittel	$\frac{1}{311,15}$
— — Englischen	$\frac{1}{310,3}$;	$\frac{1}{309,94}$;	$\frac{1}{313,7}$	—	$\frac{1}{311,2}$
— — Lappländischen	$\frac{1}{307,88}$;	$\frac{1}{307,55}$;	$\frac{1}{309,92}$	—	$\frac{1}{308,45}$

Das Mittel aus allen wäre dann $\frac{1}{310,31}$. Nach einer genauen Revision der Standlinien in Indien und England findet Kater[2] dagegen aus den beiden genauen *Indischen*, den *Französischen*, *Englischen* und *Lappländischen* mit einer geringen Abweichung der einzelnen Resultate im Mittel $\frac{1}{305,32}$, nämlich aus der Vergleichung der drei genannten, unter 9° 34′ 44″ unter 13° 2′ 55″ und unter 16° 34′ 42″ gemessenen Graden mit

dem Französischen	$=\frac{1}{304,64}$;	$\frac{1}{305,55}$;	$\frac{1}{313,77}$	Mittel	$\frac{1}{307,99}$
dem Englischen	$=\frac{1}{305,57}$;	$\frac{1}{306,4}$;	$\frac{1}{313,5}$	—	$\frac{1}{308,49}$
dem Lappländ.	$=\frac{1}{304,44}$;	$\frac{1}{305,01}$;	$\frac{1}{309,09}$	—	$\frac{1}{307,55}$

woraus als Mittel $\frac{1}{307,55}$ folgt. Weil aber die drei letzten Resultate sämmtlich zu klein sind, so wird diese Messung als fehlerhaft betrachtet, und bei der großen Uebereinstimmung der übrigen aus diesen das oben genannte Mittel als mit der Wahr-

1 Phil. Tr. 1813. I. 27.
2 Ibid. 1821. I. 94.

heit am genauesten übereinstimmend angenommen. Dafs indefs der gelehrte Geometer die Beobachtungen etwas corrigirt habe, um dieses, nach seiner Meinung richtige Resultat herauszubringen, scheint mir nicht zweifelhaft. WALBECK[1] endlich nimmt die *Peruanische*, die *französische*, die *beiden Ostindischen*, die *englische* und *neuere Lappländische* nach der Methode der kleinsten Quadrate in Rechnung, und findet die Länge eines mittleren Grades = 57009,76 Toisen, die Abplattung aber $= \frac{1}{302,78}$.

Es ist im Vorstehenden die Gestalt der Erde und die Gröfse ihrer Abplattung so angegeben, wie sie auf eine einfache Weise aus den Gradmessungen gefunden wird. LA PLACE, v. LINDENAU, v. BOHNENBERGER u. a. haben zugleich noch eine andere Methode gewählt, indem sie die Resultate der Gradmessungen zusammenstellen, dabei eine gewisse wahrscheinliche Abplattung zum Grunde legen, und hieraus bestimmen, wie grofs die begangenen Fehler seyn müssen, wenn alle Messungen mit einer regelmäfsigen Gestalt der Erde übereinstimmen sollen. Auch dieses hier zu zeigen, würde zu weit führen, und es wird daher genügen, nur im Allgemeinen das Resultat anzugeben, wonach die zuverlässigeren Messungen allerdings so genau mit der oben gefundenen Abplattung übereinstimmen, dafs die Abweichungen füglich begangenen Fehlern oder örtlichen Anziehungen des Bleilothes beizumessen sind, und man also nicht gezwungen ist, der Erde eine unregelmäfsige Gestalt beizulegen[2]. Inzwischen scheinen doch die bisherigen Gradmessungen nicht geeignet, die Frage über die Excentricität des elliptischen Erdsphäroid's genügend zu entscheiden. Dieses geht schon aus den grofsen Abweichungen hervor, welche die Zusammenstellungen der einzelnen Gradmessungen zeigen, und wenn sie sich gleich anscheinend zu dem angegebenen mittleren Resultate von $\frac{1}{305}$ vereinigen lassen, so weifs man zugleich sehr wohl, dafs eben diese Gröfse oft aus andern bekannten Gründen gesucht und also auch gefunden wurde.

---

1 Diss. de forma et magnit. Telluris cet. Aboae 1819.

2 Vergl. Walbeck a. a. O. p. 7.

B. Gestalt der Erde nach Längenmessungen.

Es ist wohl ohne Weiteres an sich klar, dafs die Gröfse und Gestalt der Erde eben so gut auch durch Gradmessungen auf verschiedenen Parallelkreisen bestimmbar seyn müfste, wenn diese mit der erforderlichen Genauigkeit angestellt würden. Weil aber hierbei im Allgemeinen die nämlichen Schwierigkeiten zu überwinden sind, als bei den Messungen in den Meridianen, die scharfe Bestimmung des Längenunterschiedes der beiden Endpuncte solcher gemessenen Bogen aber ungleich schwieriger ist[1], als die Bestimmung der Polhöhen bei gemessenen Breitengraden, so läfst sich hiervon noch weniger erwarten.

Die ersten mir bekannten Messungen von Längengraden sind die 1733 und 34 durch Cassini und Maraldi ausgeführten. Sie mafsen den Perpendikel auf dem Meridian von Paris westlich bis an die Grenze des Reiches, und fanden hieraus die Länge eines Grades in diesem Parallel = 36676 Toisen, also 1037 T. kleiner, als er bei der vollkommenen Kugelgestalt der Erde seyn mufste. Eben so wurde auch der östliche Perpendikel bis nach Strafsburg gemessen, und die Länge eines Grades = 37745 Toisen, mithin 680 T. kleiner gefunden, als auf einer Kugel, woraus zwar im Allgemeinen die sphäroidische Gestalt der Erde folgte, allein der Unterschied beider gefundenen Gröfsen läfst schon an sich nicht auf die erforderliche Genauigkeit dieser Messungen schliefsen. Eine dritte Messung dieser Art stellte Cassini 1735 auf der Höhe von Brest an, und fand abermals die Abweichung von der Kugelgestalt bestätigt, allein aus dem hierbei erhaltenen Resultate folgte eine längliche Form der Erde, welches im Widerspruche mit den beiden früheren der älteren Meinung zur Unterstützung diente[2]. Die genaueste Messung von Längengraden ist vielleicht die im Jahre 1740 von Cassini de Thüry und Lacaille vorgenommene. Als Beobachtungspuncte wählten sie den Berg St. Victoire bei Aix und St. Clair bei Cette, und bestimmten den Längenunterschied durch die Beobachtung von Pulversignalen, welche auf dem Thurme Sta. Maria in einem kleinen Dorfe an der Rhone

1 Vergl. *Länge, geographische.*

2 Mém. de l'Ac. 1733. p. 389. 1734. p. 434. 1735. p. 403. u. 1736. p. 329.

zwischen beiden Stationen durch Abbrennen von 10 ℔. Pulver gegeben wurden. Den Unterschied der Zeit fanden sie 7′ 33″,25, welches einer Längendifferenz von 1° 53′ 19″ zugehört, den terrestrischen Bogen zwischen beiden Stationen aber bestimmten sie vermittelst 6 Dreiecken und einer Basis von mehr als 9000 Toisen, in der Ebene bei Arles gemessen, zu 78663 Toisen, woraus ein Grad der Länge in dieser Breite = 41358 Toisen gefunden wurde, also 260 Toisen kürzer als auf der Kugel und über 500 T. kürzer, als er nach der Hypothese einer länglichten Gestalt der Erde seyn mufste[1]. Auch die ältere Nachricht über die ausgedehnten Messungen des Major Lambton in Ostindien enthält die Angabe eines unter 12° 32′ 30″ N. B. gemessenen Längengrades[2], dessen Gröfse 57294 Tois. gefunden seyn soll. Weil diese Gröfse aber die aus den Messungen der Breitengrade gefundene um etwa 1000 Tois. übersteigt, so mufs nothwendig irgend ein Fehler obwalten, welcher sie zur Bestimmung der Erdgestalt unbrauchbar macht, auch wird dieselbe in der späteren vollständigen Darstellung dieser bedeutenden Messungen nicht weiter erwähnt[3]. Burrow verband mit seiner eben erwähnten Messung der Breitengrade gleichfalls eine der Längengrade, und fand einen solchen unter 23° 18′ = 52534 Toisen, welches allerdings mit anderweitigen genauen Bestimmungen recht gut übereinstimmt, als Mittel zur Berechnung der Erdgestalt aber der erforderlichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermangelt.

Erst aus den neuesten Zeiten besitzen wir einige Messungen von Längengraden, welche nicht blofs mehr Vertrauen verdienen, sondern auch zur Bestimmung der Abplattung benutzt werden können. Mehrere Geometer und Astronomen haben gemeinschaftlich daran gearbeitet, nämlich hauptsächlich der Obrist Brousseaud vom französischen Genie-Corps, welcher die geodätische Messung im Parallel von 45° 43′ 12″ zwischen den Meridianen von Marennes bei Royan und Genf vollendet hat, desgleichen die Astronomen Nicollet und Pictet, wel-

---

1 Cassini: la Méridienne de Paris vérifiée. Par. 1744. Suite des Mém. de l'Ac. 1740.

2 S. Asiatic Researches VIII. Vergl. de Lambre Astronomie théorique et pratique. Par. 1814. 3 Tom. 4. I. 525.

3 S. Phil. Tr. 1818. II.

che für diesen Theil des Ganzen die Längenbestimmungen besorgt haben. An diese Messung schliefst sich der durch PLANA und CARLINI in Italien bis Padua gemessene Bogen an. Der erste, aus vier Theilen bestehende Bogen hat eine Länge von 565052,5 Metres bei einem Unterschiede der Länge von 1741",51 in Zeit, und giebt die Gröfse eines Längengrades = 77867,25 Metres, also mit dem Meridianbogen zwischen Greenwich und Formentera verglichen eine Abplattung von $\frac{1}{271,31}$. Wird der gemessene Bogen bis zum Meridiane von Mailand verlängert, so erhält der Längengrad 77862,66 Metres, und giebt eine Abplattung von $\frac{1}{275,68}$, und wenn er endlich mit der italienischen Messung von PLANA und CARLINI verbunden und bis Padua ausgedehnt wird, so erhält man die Länge des mittleren Längengrades = 77847 Metres und eine Abplattung von $\frac{1}{292}$. Es ist merkwürdig, dafs hiernach die Abplattung ungleich gröfser erscheint, als sie aus den bei weitem meisten bisherigen Breitenmessungen gefunden ist, zugleich aber ist die Differenz der Resultate, welche bei so sorgfältigen Operationen dennoch zwischen $\frac{1}{271,31}$ und $\frac{1}{292}$ fällt, nicht eben geeignet, das Vertrauen auf diese Arten von Bestimmungen der Abplattung durch einzelne, auf der Oberfläche des Erdsphäroids gemessene Bogen zu befestigen[1].

Um aus gemessenen Parallelen, verglichen mit bekannten Breitengraden, die Abplattung der Erde zu finden, dient folgende Formel von PUISSANT, wonach dieser die angegebene Excentricität gefunden hat[2]. Es bezeichnen φ und ψ die Breitengrade der äufsersten Puncte des verglichenen Meridianbogens A, ferner sey P die Gröfse des im Parallel unter der Breite = H gemessenen Bogens B, endlich e die Excentricität und a der Halbmesser des Aequators, π aber der halbe Umkreis für den Halbmesser = 1; so ist

1 S. Puissant in Nouveau Bullet. des Sciences. 1825. Nov. p. 151.

2 Connaissance des Tems. 1827. p. 230.

$$A = (\varphi - \psi)\frac{a\pi}{180}\Big[1 - e^2\Big(\frac{1}{4} + \frac{135}{\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi - \psi)\,\text{Cos.}(\varphi + \psi)}{\varphi - \psi}\Big)\Big]$$

$$- e^4\Big(\frac{3}{64} + \frac{\;}{4\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi - \psi)\,\text{Cos.}(\varphi + \psi)}{\varphi - \psi}$$

$$- \frac{675}{32\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}2(\varphi - \psi)\,\text{Cos.}2(\varphi + \psi)}{\varphi - \psi}\Big)$$

$$B = \frac{P a\pi}{180}\,\text{Cos.}H\,(1 + \tfrac{1}{2}e^2\,\text{Sin.}^2 H + \tfrac{3}{8}e^4\,\text{Sin.}^4 H + \ldots)$$

In beiden Formeln kann das zur vierten Potenz von e gehörige Glied füglich weggelassen werden. Dividirt man beide durch einander, und eliminirt auf diese Weise a, so findet man

$$e^2 = \frac{B(\varphi - \psi) - AP\,\text{Cos.}H}{B(\varphi - \psi)\Big[\frac{1}{4} + \frac{135}{\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi - \psi)\,\text{Cos.}(\varphi - \psi)}{\varphi - \psi}\Big] + \frac{1}{2}AP\,\text{Cos.}H\,\text{Sin.}^2 H.}$$

C. Gestalt der Erde nach Pendelschwingungen.

Ein weit leichteres, und wie sich im Verfolge der Untersuchung ergeben wird, ein weit sichereres Mittel zur Bestimmung nicht sowohl der absoluten Gröfse (welche nothwendig durch irgend eine Art directer Messung gefunden werden mufs) als vielmehr der Gestalt der Erde, oder noch genauer des Axenverhältnisses derselben unter der Voraussetzung einer elliptisch sphäroidischen Gestalt derselben, sind Pendelschwingungen. Auf den ersten Blick scheint es dem Unkundigen zwar unmöglich, dafs aus den Oscillationen eines Pendels, d. h. irgend eines schweren, an einem Faden aufgehangenen, Körpers das Verhältnifs der Erdaxe zu ihrem äquatorischen Durchmesser bestimmbar seyn soll, allein dieses einfache Mittel, wodurch sich die Herrschaft des menschlichen Verstandes über die Gesetze der Natur auf eine interessante Weise legitimirt hat, läfst sich gar leicht vorstellbar machen. Jeder schwere Körper folgt nämlich der Anziehung, welche jedes einzelne materielle Theilchen der Erde gegen ihn ausübt, und äufsert hiernach das Bestreben zu fallen. Wird er daher an einen Faden gebunden, so mufs er die mittlere Richtung gegen die Erde erhalten, in welche die Summe aller dieser Kräfte ihn zieht, und in diese nämliche Richtung wieder herabsinken, wenn man ihn in ir-

gend einen Elongationswinkel mit dieser Richtung bringt, oder er wird vermöge des Gesetzes der Trägheit oscilliren, bis die Hindernisse dieser seiner oscillatorischen Bewegung den Zustand der Ruhe wieder herstellen. Die hiernach stattfindenden der Schwingungen geschehen, nach den Gesetzen des Fallens, und das Fallen selbst wird erzeugt durch die Schwere oder die Anziehung, welche die Erde gegen ihn ausübt. Wäre nun die Erde eine vollkommene Kugel, so würde die Anziehung, mithin auch die Geschwindigkeit des Fallens und somit auch die Zeit einer Schwingung überall gleich seyn. Ist aber die Erde ein regelmäſsig gebildeter Körper von anderer Gestalt, so werden diese sämmtlichen Bedingungen und diesemnach auch ihre Wirkung eine Abänderung erleiden; namentlich werden bei einer regelmäſsigen elliptisch sphäroidischen Form derselben die Anziehungen und Fallhöhen unter dem Aequator am geringsten, unter den Polen am gröſsten seyn. Weil aber endlich die Pendelschwingungen so viel zahlreicher in einer gegebenen Zeit sind, je stärker die Wirkung der Anziehung ist, und so viel geringer, je länger das Pendel ist, so kann aus der zunehmenden Zahl der Schwingungen oder der gröſseren Länge der gebrauchten Pendel die Vermehrung der Schwere nach den Polen hin, und hierdurch das Verhältniſs der Erdaxen oder die Abplattung oder die Excentricität des Erdellipsoids gefunden werden. Auf welche Weise dieses mit Genauigkeit geschieht, wird weiter unten gezeigt werden.

Pendelbeobachtungen für den angegebenen Zweck sind viel später angestellt, als Gradmessungen ausgeführt wurden, allein da die Versuche dieser Art wo möglich noch feiner sind, als die geodätischen Messungen, begangene Fehler aber wegen des Schlusses von kleinen gemessenen Gröſsen auf ungleich gröſsere leicht bedeutende Unrichtigkeiten herbeiführen, so sind einige der durch dieses Mittel erhaltenen Bestimmungen wo möglich noch abweichender, als diejenigen, welche aus den Gradmessungen gefunden wurden. Für den vorliegenden Zweck sind daher eigentlich nur die Resultate der neuesten Beobachtungen brauchbar, welche indeſs eben so genau unter sich übereinstimmen, als eine bisher unerwartet groſse Abplattung geben.

Daſs die Pendel unter niederen Breiten verkürzt werden müsse, um in gleichen Zeiten zu schwingen als in höheren.

äußerte zuerst PICARD[1], und zur Prüfung dieser Muthmaßsung erhielt RICHER zu Cayenne unter etwa 5° N. B. den Auftrag, Beobachtungen hierüber zu machen. Er mußste sein Pendel um 1,25 Lin. verkürzen, und in Paris um ebensoviel wieder verlängern[2]. Aehnliche Erfahrungen machten VARIN und DESHAYES an der africanischen Küste[3], allein ihre Beobachtungen selbst sind für den vorliegenden Zweck viel zu ungenau. Die ersten Beobachtungen, welche man zur Bestimmung der Pendellänge unter verschiedenen Breiten benutzte, sind die durch BOUGUER unter dem Aequator und in 9° 32′ 56″,4 angestellten, worauf dann mehrere Gelehrte nachfolgten, und an anderen verschiedenen Orten unter höheren Breiten die Pendellängen maßsen. Als Grundlage zur Bestimmung der Abplattung pflegte man bisher meistens diejenigen Pendellängen zu benuzzen, welche LA PLACE[4] aus den Beobachtungen entnommen, auf das Niveau des Meeres und den luftleeren Raum reducirt, nach der Temperatur corrigirt und zur Bestimmung der Abplattung berechnet hat. Folgende sind die Beobachter nebst den Beobachtungsorten, den Breitengraden derselben und den corrigirten Pendellängen, die durch BOUGUER in Paris gefundene als Einheit angenommen.

BOUGUER;	Aequator	—	00°	00′	00″,0	—	0,99669
— —;	Porto bello	—	9	32	56,4	—	0,99689
LEGENTIL;	Pondichery	—	11	55	30,0	—	0,99710
CAMPBEL;	Jamaica	—	18	00	00,0	—	0,99745
BOUGUER;	Goava	—	18	27	00,0	—	0,99828
LACAILLE;	Cap	—	33	55	15,6	—	0,99877
DARQUIER;	Toulouse	—	43	35	45,6	—	0,99950
LIESGANIG;	Wien	—	48	12	46,8	—	0,99987
BOUGUER;	Paris	—	48	50	2,4	—	1,00000
v. ZACH;	Gotha	—	50	58	1,2	—	1,00006
GRAHAM;	London	—	51	29	52,8	—	1,00018
GRISCHOW;	Arensberg	—	58	14	52,8	—	1,00074
MALLET;	Petersburg	—	59	56	24,0	—	1,00101
MAUPERTUIS;	Pello	—	66	47	52,8	—	1,00137
MALLET;	Ponoi	—	67	4	37,2	—	1,00148

1 Mésure de la Terre. Par. 1671. 8. art. 4.

2 Observations astronomiques et physiques faites à Cayenne. Par. 1670. fol.

3 S. oben.

4 Méc. cél. L. III. c. V. §. 42.

Neun Beobachtungen von diesen wurden mit einfachen Pendeln, nämlich einem schweren Körper (Platinkugel) an einem Faden hängend, dessen oberes Ende von einer Zwickzange festgehalten wurde, angestellt, die übrigen sechs, nämlich die zu Jamaica, London, Arensberg, Petersburg, Pello und Ponoi aus dem Gange dorthin gebrachter Uhren berechnet. Aus der Vergleichung aller findet La Place die Abplattung $= \frac{1}{335,78}$.

Weil dieses Resultat sehr nahe mit demjenigen übereinstimmt, welches man aus der Vergleichung der großen französischen Gradmessung mit der Peruanischen gefunden und der Bestimmung der Länge des Meters zum Grunde gelegt hatte, so begnügte man sich anfangs damit. Bald nachher aber, als die später zu erwähnenden Mittel zur Auffindung der Abplattung des Erdsphäroids zeigten, daß diese gefundene Größe zu geringe sey, zeigten sich bei genauerer Prüfung die Mängel der benutzten Pendellängenbestimmungen, und weil die aus Vermuthungen geschlossenen Correctionen die Sache zweifelhaft ließen[1], so wurde bei den Gelehrten das Verlangen stets reger, genauere Messungen der Pendellängen zu erhalten, um das so lange und oft versuchte Problem der Bestimmung der eigentlichen Erdgestalt endlich mit größerer Gewißheit gelöset zu sehen. Schließen wir vor der Hand die allerdings schätzbaren aber nicht fortgesetzten Versuche der Spanier aus, so waren es hauptsächlich nur zwei Nationen, welche sich dieses hohe Verdienst um die Wissenschaft mit großem Aufwande von Mühe und Kosten erwarben, nämlich die *Franzosen* und *Engländer*, und zwar gingen jene auch diesesmal hierin voran, wurden aber hinsichtlich der Ausdehnung der Bemühungen von diesen nach den bis jetzt bekannten Resultaten noch übertroffen. Schon bei der Ausrüstung der Entdeckungsreise unter La Peyrouse wurden dieser auf Veranlassung der Pariser Akademie der Wissenschaften die erforderlichen Apparate mitgegeben, um mit den nämlichen Pendeln an Orten von verschiedener geographischer Breite die Länge des Secundenpendels zu bestimmen, und hierdurch mehr Richtigkeit und Uebereinstimmung in die gefundenen Größen

---

1 v. Lindenau in Cor. astron. par le Baron de Zach. 1. cah. 2 findet aus den Pendellängen die Abplattung $= \frac{1}{315,269}$.

zu bringen. Die verunglückte Expedition gab in dieser Hinsicht keine Ausbeute, und der Mangel einer frei thätigen Seemacht nebst beschränkter Schifffahrt hinderte den guten Willen der eifrigen französischen Gelehrten. Unterdefs suchten Biot, Arago, Chaix, Mathieu und Bouvard die Pendellängen an den Hauptorten in dem durch ganz Frankreich gemessenen Meridiane zu bestimmen, und setzten diese Operationen, namentlich Biot, durch England bis zur Insel Unst fort. Sie fingen 1807 damit in Formentera an. und das ganze weitläuftige Unternehmen wurde erst 1817 beendigt, während welcher Zeit die Beobachtungen oft unterbrochen wurden[1]. Die Kenntnifs dieser Operationen und insbesondere das auffallend abweichende Resultat, welches die englische Gradmessung zur Bestimmung der Erdgestalt gegeben hatte, bewog die Engländer zu dem Wunsche, ihre übrigens mit so grofser Genauigkeit ausgeführten geodätischen Messungen zu controliren. Davies Gilbert brachte den Gegenstand im Parlamente in Anregung, man wandte sich 1816 an den damaligen Prinz Regenten, und Captain Kater erhielt den Auftrag zur Ausführung. Dieser bestimmte die Pendellängen an den Hauptorten der geodätischen Messung, zuvor aber die absolute Länge des Secundenpendels in London mit der gröfsten Schärfe, und führte insbesondere den Gebrauch der *unveränderlichen Pendel* allgemeiner ein, welche in London sämmtlich auf gleiche Weise verfertigt, mit dem von ihm gebrauchten verglichen, dann sorgfältig eingepackt und versandt werden können, so dafs man hiernach ein sicheres Mittel besitzt, die gehörig corrigirten Pendelschwingungen an den entlegensten Orten mit einander zu vergleichen, und dabei auf der einen Seite weder Fehler in der Messung der Länge des jedesmal gebrauchten Pendels, noch auch solche zu fürchten hat, welche aus einer Beschädigung desselben hervorgehen könnten, indem sie nach der Zurücksendung abermals an dem ursprünglichen Hauptbeobachtungsorte verglichen werden.

---

1 Die erste Reihe von Beobachtungen zu Formentera, Figeac, Bourdeaux, Clermont, Paris und Dünkirchen unter sich verglichen, und nach der unten angegebenen Methode berechnet giebt die Abplattung $= \frac{1}{297,7}$ nach Biot Astron. III. 169. Es scheint fast, als hätte dieser Gelehrte später sich absichtlich bemühet, aus allen Beobachtungen die durch La Place bestimmte Abplattung zu finden.

Außer den Beobachtungen, welche KATER selbst mit solchen Pendeln anstellte, wurden daher noch einzelne in niederen Breiten gemacht, und noch wichtiger war es wohl, daſs Capt. SABINE solche Pendel bei einer der neuesten Nordpolarexpeditionen mitnahm, um unter sehr hohen nördlichen Breiten die Längen des Secundenpendels zu messen, und hieraus mit gröſserer Sicherheit die Abplattung der Erde zu finden. Inzwischen ergab sich insbesondere aus den in England angestellten Beobachtungen, wie nicht minder aus den oben erwähnten französischen und einer Vergleichung derselben sowohl unter sich als auch mit einander, daſs das Pendel auf eine unerwartet bedeutende Weise durch Localanziehungen afficirt werde, und sowohl die englischen als auch die französischen Gelehrten kamen daher in der Ueberzeugung überein, daſs auf einen verhältniſsmäſsig so kleinen Theil des Meridians beschränkte Versuche die Abplattung des Erdsphäroids nicht mit der erforderlichen Sicherheit geben würden. Hieraus entstand bei beiden Nationen der Wunsch, diese Messungen auf noch entferntere Gegenden auszudehnen. Die Franzosen richteten dabei ihr Augenmerk hauptsächlich zugleich auf die Entscheidung der Frage, ob die beiden Hälften der Erdkugel, die südliche und die nördliche, eine wesentlich verschiedene Gestalt hätten, wie man in Gemäſsheit der Capischen Gradmessung durch LA CAILLE so lange angenommen hat, und es war daher eine Hauptaufgabe der Entdeckungsreisen von FREYCINET und DÜPERREY, diesen Gegenstand durch Pendelversuche an mehreren Orten auf der südlichen Halbkugel mit Sicherheit auszumitteln. Directer zur Erreichung des vorliegenden Hauptzweckes führte die Expedition, wozu sich die Engländer entschlossen. Es wurde nämlich der Capt. SABINE auf einem eigends hierzu ausgerüsteten Kriegsschiffe im Jahre 1822 abgesandt, um unter dem Aequator und in der Nähe desselben die Länge des einfachen Secundenpendels zu messen, und als er sich bei diesen Operationen abermals von der beträchtlichen Localeinwirkung der Beobachtungsorte überzeugte, woraus also die Nothwendigkeit hervorging, die hieraus entspringenden Fehler durch die Ausdehnung der Messungen über einen gröſseren Bogen unschädlicher zu machen, so bat er schon in Voraus um die Ausrüstung einer zweiten Expedition nach dem hohen Norden, und fand daher bei seiner Rückkunft alles dazu vorbereitet, um auf einem der Schiffe.

welche für PARRY zu der Nordpolarexpedition eigends eingerichtet waren, dem Griper, abzusegeln, und die Beobachtungen an den Küsten von Norwegen, Grönland und Spitzbergen fortzusetzen. Leider verstattete die Zeit nicht, die Versuche auch auf Island anzustellen, welche Insel nicht sowohl wegen ihrer nördlichen Lage als hauptsächlich wegen der Beschaffenheit ihres Bodens über verschiedene wichtige Fragen durch solche Beobachtungen Aufschlufs geben würde. Die Resultate aller dieser höchst schätzbaren Versuche, welche nur durch den Aufwand grofser, die Wissenschaften ernstlich befördernder, Staaten möglich werden, und ihnen daher zum unvergänglichen Ruhme gereichen, sind in den folgenden Zusammenstellungen so weit benutzt, als bis jetzt das Publicum davon in Kenntnifs gesetzt ist[1]. Zuvor ist indefs zur richtigen Beurtheilung der ganzen Sache noch Folgendes zu berücksichtigen.

1. Die individuelle Beschaffenheit der Pendel, deren man sich zu diesen Bestimmungen bedient, ist eigentlich ganz gleichgültig, nothwendige Bedingung dabei ist aber, dafs sie sich während der Dauer der Beobachtung auf keine Weise ändern. Inzwischen bringt es die Wichtigkeit der Aufgabe und die Feinheit der Versuche von selbst mit sich, dafs man nur äufserst sorgfältig gearbeitete Instrumente hierzu gebrauchen kann. Aufserdem aber müfsten die Messungen eigentlich mit einem mathematischen, im luftleeren Raume schwingenden Pendel vorgenommen werden, und da es ein solches nicht giebt, so erfordert das wirklich gebrauchte physische Pendel gar viele Correctionen, um dieses auf jenes zu reduciren. Sowohl die Construction solcher Pendel im Allgemeinen, als auch die erforderlichen

---

1 Die literärischen Nachweisungen dieser kurzen geschichtlichen Uebersicht finden sich unten bei den einzelnen Angaben. Folgende ältere Pendelmessungen, welche von mir nicht benutzt sind, mögen zu einer künftigen Vergleichung hier nur historisch erwähnt werden. Nach STEPH. RUMOVSKI war die Länge eines aus Paris nach *Petersburg* gebrachten Pendels = 440,55 Lin. Nach diesem aus den Schwingungen gemessen war die Länge desselben zu *Kola* unter 68° 52′ 30″ = 441,34; zu *Archangepolis* unter 64° 33′ = 441,15 Par. Lin. Nach demselben Mafse ausgedrückt soll das Pendel in *Pello* = 441,17; in *Ponoi* 441,22; in *Petersburg* 441,02 seyn. S. Nov. Com. Pet. XVI. 567. HENRY findet die Länge des einfachen Secundenpendels in *Petersburg* = 441,08 Par. Lin. S. Nov. Act. Pet. XI. 524. Noch andere S. ebend. VII. 215.

Correctionen gehören unter den Artikel *Pendel*, die in der Folge vorkommenden, und zur Berechnung benutzten Angaben sind aber die schon corrigirten.

2. Zur Bestimmung der Excentricität der Erdmeridiane ist eigentlich erforderlich, die Pendellängen an den verschiedenen Beobachtungsorten zu kennen. Hiernach ist also die absolute Länge desjenigen Pendels, worauf man die gesammten gemessenen Längen bezieht, ganz gleichgültig, allein wegen leichterer Uebersicht und bequemerer Messung wählt man in der Regel das Secundenpendel, und zwar entweder dasjenige, welches Secunden nach mittlerer Sonnenzeit oder nach Sternenzeit schwingt. Die Messung der absoluten Länge eines solchen Pendels ist indeſs höchst schwierig, und ebenso ist es nicht bloſs schwer, sondern auch sehr zeitraubend, ein solches genaues Secundenpendel an den verschiedenen Stationen herzustellen. Man wählt daher einen weit kürzeren und leichteren, obendrein aber noch sicherern Weg, indem man nur für einen einzigen Normalort die absolute Länge des Secundenpendels bestimmt, und für die übrigen Beobachtungspuncte die Längen aus den Schwingungen selbst bestimmt. In dieser Hinsicht genügt es nur im Allgemeinen zu bemerken, daſs nach der Theorie des Pendels, wenn die Länge des einen, welches n Schwingungen in einer gegebenen Zeit macht, $= 1$ ist, die Länge eines andern, welches n' Schwingungen in der nämlichen Zeit vollendet, $l' = l \frac{n'^2}{n^2}$ ist[1].

3. Die Zahl der Schwingungen eines Pendels in einer gegebenen Zeit, wozu meistens ein ganzer Tag genommen wird, kann nur dann mit Genauigkeit gefunden werden, wenn man dasselbe eine längere Zeit beobachtet. Weil aber eine solche anhaltende Zählung der Oscillationen eben so mühsam als wegen des möglichen Verzählens leicht unsicher seyn würde, so hat man ein einfacheres und völlig sicheres Mittel gewählt, indem man die Linse des schwingenden Pendels und die einer richtig gehenden Uhr zugleich beobachtet, und bloſs ihre Coincidenzen, in einer gewissen Zeit hemerkt, woraus dann die gesammte Zahl der Schwingungen berechnet werden können, wie gleichfalls unter dem Artikel *Pendel* gezeigt werden wird.

1 Vergl. *Pendel.*

Eine andere, von Freycinet angewandte Methode des Zählens ist unten beschrieben.

4. Man könnte sich zur Messung überhaupt eines gewöhnlichen Uhrpendels bedienen. Allein weil dieses bei jeder Oscillation einen kleinen Impuls durch den Mechanismus der Uhr erhält, damit es nicht still steht, dieser aber auf seinen Gang einigen Einfluſs hat, so bedient man sich eines solchen zunächst nur zur Controle und zum Zählen der Schwingungen des freien Pendels.

5. Daſs die geographische Breite des Beobachtungsortes zugleich genau bestimmt werden müsse, versteht sich wohl von selbst, und darf nur beiläufig erwähnt werden. Auſserdem aber haben eben die neuesten Versuche dargethan, daſs die *geognostische Beschaffenheit der Beobachtungsörter* von weit gröſserem Einflusse durch die örtliche Anziehung sey, als man früher voraussetzte.

6. Bei der Berechnung der Abplattung aus den an verschiedenen Orten gemessenen Pendellängen ist Folgendes zu berücksichtigen. Es ergiebt sich zuvörderst aus den in der Folge zu erörternden Gründen, daſs die Erde, wenn man sie als ursprünglich flüssig betrachtet, bei ihrer Rotation eine ellipsoidische Gestalt annehmen muſste, um in den Zustand des Gleichgewichts aller ihrer gesammten Schichtungen zu kommen. Wird also diese Form und die Bedingung einer überall gleichen Dichtigkeit vorausgesetzt, so verhalten sich die Schweren in verschiedenen Puncten eines Meridians (oder verschiedener Meridiane bei gleichen Breiten und unter der Bedingung einer gleichmäſsigen Krümmung aller Meridiane) wie die Normallinien der elliptischen Bogen, die Cubi der Normallinien aber wie die Krümmungskreise, oder bei der Kleinheit der Bogen wie die Meridiangrade, die Pendellängen aber verhalten sich wie die Schweren, und somit müssen sich die Würfel der Pendellängen wie die Meridiangrade verhalten[1]. Man kann sich also der oben angegebenen *Maupertuis'schen Formel* zur Berechnung der Abplattung aus den Pendellängen bedienen. Sind also die gemessenen Pendellängen L und l die zugehörigen Breitengrade φ und ψ, so ist wie oben

---

1 Bohnenberger Astronomie S. 689.

$$d = \frac{L^3 - l^3}{3(L^3 \operatorname{Sin.}^2 \varphi - l^3 \operatorname{Sin.}^2 \psi)}.$$

Diese Formel ist indefs nicht bequem, und giebt aufserdem die Abplattung nicht unmittelbar, weil die Bedingungen derselben bei der Erde nicht statt finden. Ungleich leichter findet man das gesuchte Resultat auf folgende Weise. Aus Gründen, welche in der Folge entwickelt werden, nimmt man an, dafs der Halbmesser des Aequators sich zur halben Axe verhält, wie die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator oder wie die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Pole zur Länge desselben unter dem Aequator. Es ergiebt sich ferner aus den Gesetzen der Schwere in Verbindung mit denen der Schwungkraft, dafs die Schwere vom Aequator nach den Polen der Quadraten des Sinus der Breite proportional zunimmt[1], und dieser Zunahme mufs daher auch die der Pendellängen gleich seyn. Mit diesen Hülfsmitteln läfst sich also aus zwei unter verschiedenen Breiten gemessenen Pendellängen die absolute Pendellänge unter dem Aequator und unter dem Pole, desgleichen der Unterschied beider, und somit das Verhältnifs der Erdaxen finden. Heifst diesemnach die Pendellänge unter dem Aequator x, die Zunahme derselben unter dem Pole y, sind ferner die unter den Breiten φ und ψ gemessenen Pendellängen l und L, so ist

$$l = x + y \operatorname{Sin.}^2 \varphi$$
$$L = x + y \operatorname{Sin.}^2 \psi$$

also $y = \dfrac{L - l}{\operatorname{Sin.}(\psi + \varphi)\operatorname{Sin.}(\psi - \varphi)}$.

Ist hierdurch y bestimmt, so kann aus jeder Gleichung auch x gefunden werden, und aus diesen beiden Gröfsen würde die Abplattung unmittelbar $= \dfrac{x + y - x}{x}$ oder $\dfrac{y}{x}$ seyn, wenn die Bedingung einer gleichmäfsigen Dichtigkeit der einzelnen Schichtungen des Erdellipsoid's statt fände. Diese widerstreitet indefs schon dem grofsen Drucke, welchen die unteren Schichten nothwendig erleiden müssen. Inzwischen hat Clairaut durch scharfsinnige Combinationen das merkwürdige, durch spätere Forschungen vielfach bestätigte Theorem aufgestellt, *dafs die Zunahme der Schwere am Pole nebst der Excentricität gleich*

1 S. *Schwere* No. 8.

st dem *zwei und einhalbfachen des Verhältnisses der Schwungkraft unter dem Aequator zur Schwere*, wenn man annimmt, lafs ein um seine Axe rotirendes elliptisches Sphäroid aus Schichen von ungleicher, von der Oberfläche nach dem Centrum zunehmender Dichtigkeit bestehend, in den Zustand des Gleichgewichts seiner Theile kommen soll. Heifst also die Excentricität des Erdellipsoids e, das Verhältnifs der Schwungkraft unter lem Aequator zur Schwere k, so ist

$$\frac{y}{x} + e = 2,5\,k$$

$$\text{also } e = 2,5\,k - \frac{y}{x}$$

wonach die Abplattung aus den gefundenen Pendellängen berechnet zu werden pflegt[1].

Es sind oben die spanischen Messungen erwähnt, welche unter die frühesten und umfassendsten gehörend hier der Vollständigkeit wegen nicht übergangen werden dürfen, obgleich sie zu keinem genügenden Resultate führen, und daher von denjenigen auszuschliefsen sind, welche zur Entscheidung der vorliegenden Frage dienen können. Das spanische Gouvernement gab nämlich dem Commandanten der beiden Fregatten Descubierta und Atrevida, dem Alexander Malaspina, ein unveränderliches Pendel mit, bestehend aus einer in Oel getränkten fichtenen Stange mit einer messingenen Linse, womit dieser in den Jahren 1789 bis 1794 zusammen an 16 Puncten vom 51° 21′ S. B. bis 59° 30′ N. B. die Schwingungen zählte. Die erhaltenen Gröfsen wurden nachher durch Ciscar[2] berechnet, allein er verglich dieselben zunächst mit demjenigen Resultate, welches La Place aus den oben mitgetheilten 15 Messungen erhielt, wonach die Abplattung zwischen $\frac{1}{321}$ und $\frac{1}{336}$ fällt. Eine Zusammenstellung einzelner Messungen gab ihm bedeutend abweichende Resultate, nämlich aus denen von Mulgrave und Nutka erhielt er die Abplattung $= \frac{1}{310}$; von Mulgrave, Nutka,

---

1 Mehreres hierüber s. unten D. Ausführlich wird dieser Gegenstand ferner behandelt durch Puissant a. a. O. II. 290, und mehrere Geometer.

2 Mon. Cor. XXV. 467.

Montery und Cadix $= \frac{1}{285}$; von Puerto Egmont und Helena $= \frac{1}{323}$; von diesen, Conception, Monte Video und Port Jackson $\frac{1}{318}$.

Indeſs haben sich v. LINDENAU[1] und MATHIEU die Mühe genommen, die Originalbeobachtungen so gut als es bei den unbestimmten Angaben möglich war zu corrigiren, insbesondere rücksichtlich des Einflusses der Feuchtigkeit auf die Pendelstange[2], und die so verbesserten Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Die bloſse Angabe der Beobachtungsörter erregt lebhaftes Bedauern, daſs die Versuche selbst nicht mit gröſserer Genauigkeit angestellt wurden, weil sie sonst rücksichtlich ihrer Ausdehnung über die südliche Halbkugel vorzugsweise geeignet wären, die streitige Frage zur Entscheidung zu bringen, und auf allen Fall die Regelmäſsigkeit der Gestalt beider Halbkugeln darzuthun. Auf der nördlichen Halbkugel nämlich wurden die Schwingungen des Secundenpendels gemessen zu *Mulgrave*, *Nutka*, *Monterey*, *Cadix*, *Macao*, *Acapulco*, *Manilla*, *Umatag*, *Zamboanga*, und unter dem *Aequator*, welche nach der Berechnung von Mathieu die Abplattung $= \frac{1}{323,2}$ geben. Auf der südlichen Halbkugel dagegen geschah dieses unter dem Aequator, in *Lima*, auf der Insel *Babao*, zu *Port Jackson*, *Monte-Video*, *Conception*, *Port St. Helena*, *Port Egmont*, und diese gaben[3] die Abplattung $= \frac{1}{311,5}$. Daſs es zulässig seyn sollte, von dieser Verschiedenheit einen Schluſs auf die Ungleichheit der Gestalt beider Erdhälften herzunehmen, wird durch dasjenige widerlegt, was in der Folge hierüber vorkommt.

---

1 Ebend.

2 Die neuesten Versuche von FREYCINET ergeben, daſs eine hölzerne Pendelstange für dergleichen feine Messungen unbrauchbar sey. S. unten.

3 Gleichfalls nach MATHIEU. Sehr nahe übereinstimmend findet v. LINDENAU für jenes $\frac{1}{324,6}$, für dieses $\frac{1}{310,6}$.

a) Unter den genaueren, zur Entscheidung über die Excicität des elliptischen Erdsphäroid's allerdings geeigneten bachtungsreihen steht die neuere französische billig voran. men wir zuerst blofs die in Frankreich selbst angestellten wie sie durch Mathieu berechnet sind[1], so geben diese ende Werthe.

erter	Breiten	gemessene Pendel	verbesserte Pendel	Beobachter
mentera	38° 39′ 56″	m 0,74120612	m 0,7412527	Biot; Arago; Chaix
ac	44 36 45	0,74157308	0,7416243	Biot; Mathieu
urdeaux	44 50 25	0,74161515	0,7416151	dieselben
rmont	45 46 48	0,74162111	0,7417157	dieselben
ris	48 50 14	0,74191167	0,7419303	dieselben; Bouvard
ünkirchen	51 2 8	0,74208649	0,7420865	Biot; Mathieu.

Sie geben folgende Gleichungen

$$\overset{m}{0,7412527} - x - y.\ 0,3903417 = D^1$$
$$0,7416243 - x - y.\ 0,4932370 = D^2$$
$$0,7416151 - x - y.\ 0,4972122 = D^3$$
$$0,7417157 - x - y.\ 0,5136117 = D^4$$
$$0,7419303 - x - y.\ 0,5667721 = D^5$$
$$0,7420865 - x - y.\ 0,6045628 = D^6$$
$$\overline{0,7417041 - x - y.\ 0,51095625 = 0}$$

Hieraus wird die zweite Reihe der Bedingungsgleichungen erhalten:

$$0,2893418390 - x.\ 0,3903417 - y.\ 0,1523666428$$
$$0,3657965449 - x.\ 0,4932370 - y.\ 0,2432827382$$
$$0,3687400754 - x.\ 0,4972122 - y.\ 0,2472199718$$
$$0,3809538616 - x.\ 0,5136117 - y.\ 0,2637969784$$
$$0,4205053942 - x.\ 0,5667721 - y.\ 0,3212306133$$
$$0,4486378923 - x.\ 0,6045628 - y.\ 0,3654961791$$
$$\overline{0,3789559345 - x.\ 0,51095625 - y.\ 0,2655655206 = 0}$$

1 Con. des Tems. 1816 p. 330. Ich nehme diese so viel lieber auf, weil dadurch auch metrische Gröfsen unter den berechneten Längen sich finden.

Hieraus erhält man

$$x.\ 0{,}0044892312 - 0{,}0033206939 = 0,$$

woraus

$$x = 0{,}7397021343;\ y = 0{,}0039180769,$$

die Abplattung aber

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}0033532 = \frac{1}{298{,}2}$$

gefunden wird. Die Gröſse dieses gefundenen Werthes fiel MATHIEU auf, weil sie diejenige bei weitem übertrifft, welche man aus der Summe der astronomischen und geodätischen Bestimmungsmittel gefunden hatte. Läſst man indeſs die Beobachtung von *Figeac* weg, welche offenbar fehlerhaft seyn muſs, weil sie mit der folgenden zu *Bourdeaux* verglichen eine negative Abplattung giebt, so kommt die dann aus den fünf übrigen Messungen gefundene demjenigen Resultate noch näher, welches wir nach späteren genauen Bestimmungen als das richtigere ansehen müssen. Man erhält nämlich alsdann aus den fünf übrigen Angaben die beiden Bedingungsgleichungen:

$$0{,}74172006 - x - y.\ 0{,}5145001 = 0$$

und

$$0{,}3816358125 - x.\ 0{,}5145001 - y.\ 0{,}27002207708,$$

aus welchen

$$x = 0{,}7397274 \text{ und } y = 0{,}003873$$

gefunden wird, wonach

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}003414287 = \frac{1}{292{,}89}$$

die Abplattung ist.

BIOT setzte die Beobachtungen nachher allein bis über Frankreich hinaus fort, verglich das gebrauchte Pendel mit demjenigen, dessen sich KATER bedient hatte, und vermehrte die erhaltenen Bestimmungen noch durch zwei, welche er zu *Fort Leith* und am äuſsersten Ende auf der schottländischen Insel *Unst* erhielt. Hierdurch wurde der zur Bestimmung dienende Theil des Meridians bedeutend gröſser, die Zahl der durch Messung erhaltenen Pendellängen wurde aber nur um zwei vermehrt, so daſs also die ganze Summe derselben acht beträgt. BIOT befolgt bei ihrer Berechnung folgende Methode[1]. Dieje-

---

1 Recueil d'Observations géodésiques, astronomiques et physiques, exécutées par ordre du bureau des Longitudes de France, en

nigen Beobachtungen, welche auf kleinen Inseln von gleicher geognostischer Beschaffenheit gemacht waren, und bei dem Mangel örtlicher Anziehung den längsten Bogen umfaſsten, zu *Formentera* und *Unst*, dienen ihm als Grundlage zur Bestimmung von y. Bei den Beobachtungen wurde ein Centesimal-Pendel (welches 100000 Schwingungen in einem Tage vollendet) gebraucht, und hierfür findet er die auf die Meeresfläche und den leeren Raum reducirte Länge in Millimetern

$$x = 739{,}704212 \text{ und } y = 3{,}965212.$$

Es ist dann $\frac{y}{x} = 0{,}005360536$

und indem er $k = \frac{1}{289{,}017} = 0{,}00346$ annimmt, so ist

$\frac{5}{2} k = 0{,}00865$, mithin ist

$$e = 0{,}00865 - 0{,}005360536 = 0{,}003289464 = \frac{1}{304}.$$

Man erwartet, daſs mit diesem Resultate die übrigen verglichen seyn sollten, allein Biot unterläſst dieses, und weil La Place aus der Vereinigung aller verschiedenen Bestimmungsmittel der Abplattung diese $= 0{,}00326$ oder $\frac{1}{306{,}75}$ gefunden hat, welchem Werthe sich der aus den beiden Pendelbeobachtungen berechnete allerdings sehr nähert, so substituirt er diese Bestimmung La Place's in die Formel, und vergleicht hiermit die gesammten beobachteten Pendellängen. Wird also dieser Werth von e substituirt, so ist

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}00326$$

woraus $y = x.\ 0{,}00539$, also $l = x\,(1 + 0{,}00539\ \mathrm{Sin.}^2\,\varphi)$ wird, den Werth von x giebt dann die Beobachtung von *Unst*, und sonach ist in Millimetern

$$x = 739{,}687686;\ y = 3{,}9683917,$$

mithin $l = 739{,}687686 + 3{,}9863917\ \mathrm{Sin.}^2\,\varphi$. Eine Zusammenstellung der hiernach berechneten und der durch Beobachtung gefundenen Längen giebt folgende Uebersicht.

Espagne, en France, en Angleterre et en Écosse cet. redigé par M. M. Biot et Arago. Par. 1821. 4. p. 573.

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Länge des Dec. Sec. Pendels beobachtet	berechnet	Unterschied
Unst	60° 45′ 25″	742,723136	742,723136	0,0000[illegible]
Fort Leith	55 58 37	742,426416	742,413435	+0,0129[illegible]
Dünkirchen	51 2 10	742,098066	742,077030	+0,021[illegible]
Paris	48 50 14	741,947360	741,917490	+0,029[illegible]
Clermont	45 46 48	741,735412	741,705180	+0,030[illegible]
Bordeaux	44 50 26	741,670048	741,608720	+0,0613[illegible]
Figeac	44 36 45	741,654181	741,612280	+0,041[illegible]
Formentera	38 39 56	741,243950	741,252000	—0,00[illegible]

Es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung, da die Differenzen, bis auf eine noch, positiv sind, dafs die Beobachtungen weit besser zu der anfangs berechneten als zu der nachher substituirten Abplattung passen, allein weil man früher dieselbe stets geringer gefunden hatte, so schien sie zu grofs, und es lag also hauptsächlich daran zu zeigen, dafs die Messungen auch mit der zuletzt von La Place angenommenen Abplattung ohne auffallende Abweichungen vereinbar seyen. In der Folge wird sich ergeben, dafs sie mit der Voraussetzung einer noch stärkeren Abplattung sogar besser übereinstimmen.

b) Eine sehr schätzbare Reihe von Messungen der Pendellängen ist die durch Capt. Kater mit seinem unveränderlichen Pendel angestellte[1]. Die erhaltenen Resultate, auf die Länge des im Niveau des Meeres und im luftleeren Raume in einem Tage mittlerer Sonnenzeit Sexagesimalsecunden schwingenden Pendels nach englischen Zollen sind folgende.

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Schwingungen	Längen
Unst	60° 45′ 28″,01	86096,90	39,17146
Portsoy	57 40 58,65	86086,05	39,16159
Forth-Leith	55 58 40,80	86079,40	39,15554
Clifton	53 27 43,12	86068,90	39,14600
Arbury-Hill	52 12 55,32	86065,05	39,14250
London	51 31 8,40	86061,52	39,13929
Shanklin-Farm	50 37 23,94	86058,07	39,13614

1 Phil. Tr. 1819. 330 u. 416.

Auch Kater bestimmt auf die oben angegebene Weise aus den Beobachtungen an den beiden Endpuncten der ganzen Station, nämlich *Unst* und *Dunnose* (Shanklin - Farm) die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator in engl. Zollen = 39,00734, und indem hiernach, wenn diese Länge = 1, der Fallraum in einer Secunde = g aus der Formel $g = \frac{l\pi^2}{2} = 16{,}0412$ engl. F. gefunden ist, das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator $\frac{1}{289{,}014} = k$ beträgt, so wird $\frac{5}{2}k = 0{,}0086501$, wie oben, wonach also die Abplattung $e = 0{,}0086501 - \frac{y}{x}$ gefunden werden kann. Letztere erhält Kater aus der Vergleichung der Pendellängen an den verschiedenen Beobachtungsorten unter einander in sehr abweichenden Resultaten, welche zwischen den beiden Extremen $\frac{1}{597{,}5}$ und $\frac{1}{229{,}6}$ liegen, als mittleres Resultat aber $\frac{1}{333{,}71}$ und mit Weglassung des einen, offenbar unrichtigen, geringsten Werthes, im Mittel $\frac{1}{319{,}82}$ geben. Dafs diese Abplattung zu geringe sey, würde man auch ohne die nachfolgenden späteren Versuche voraussetzen. Indefs versichert Kater, dafs die Bestimmungen der Pendellängen nicht um $\frac{1}{400000}$ unrichtig seyn könnten, und die Abweichungen müfsten daher aus Localanziehungen erklärt werden, indem er nicht geneigt ist, eine Unregelmäfsigkeit der Erdgestalt im Allgemeinen anzunehmen, zu deren Bestimmung aufserdem weiter entfernte Stationen von genau bekannter geognostischer Beschaffenheit erforderlich seyn würden. Einen solchen gleichen geognostischen Charakter des Bodens fand er an den Stationen *Portsoy*, *Unst* und *Arbury-Hill*, und da diese die Abplattung $= \frac{1}{304}$ und $\frac{1}{310}$ gaben, so glaubt er, die eigentliche Gröfse müsse zwischen diesen in der Mitte liegen, welches also abermals auf die oben angegebene Bestimmung La Place's führen würde.

Diese Versuche zeigten die Bedeutsamkeit örtlicher Anzie-

hungen, und erklärten allerdings die abweichenden und zum Theil der Natur der Sache offenbar widersprechenden Resultate der geodätischen Messungen, zugleich aber machten sie das Bedürfnifs stets fühlbarer, zur Bestimmung der Ellipticität Pendelbeobachtungen unter dem Aequator selbst oder in seiner Nähe angestellt zu besitzen. Zu diesem Ende erhielten einige dorthin reisende Physiker gleiche Pendel, als diejenigen, deren sich KATER bedient hatte, und die Vergleichung ihrer Messungen mit den eben genannten zeigte denn allerdings bald, daſs die Abplattung gröfser sey, als sie aus den letzteren allein gefunden war. Ich übergehe sie vorerst, um zuvor einige andere Reihen von correspondirenden Beobachtungen anzugeben.

c. Eine interessante Reihe von Beobachtungen stellte Cap. SABINE an, als er zu diesem Zwecke und zur Untersuchung des Erdmagnetismus den Cap. PARRY auf dessen erster Entdeckungsreise zur Auffindung einer nordwestpolaren Durchfahrt begleitete. Die Versuche in den hohen Breiten waren mühsam, schwierig, und wie es scheint, ihre Resultate unsicher, wenigstens vermuthe ich dieses daher, weil SABINE dieselben in seine spätere Zusammenstellung nicht mit aufgenommen hat. Eigentlich ungenau können sie inzwischen nicht seyn, und so dürften sie wegen der hohen Breiten der Beobachtungsorte auf allen Fall als ein schätzbarer Beitrag angesehen werden. Die Resultate zeigt folgende Zusammenstellung[1].

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Schwingungen	Längen
London	51° 31′ 08″,4	86497,400	39,13929
Brassa	60 09 42,0	86530,507	39,16929
Hare-Island	70 26 17,0	86562,639	39,19840
Melville	74 47 12,4	86572,134	39,20700

Die Vergleichung derselben unter einander nach der oben angegebenen Methode giebt folgende Resultate.

1 Phil. Tr. 1821. II. p. 165. Vergl. J. d. Ph. XCIII. 149. Bibl. univ. ... bei G. LXIX. 352. Con. des Tems. 1825. p. 265.

Oerter.	Verminderung der Schwere.	Abplattung
London u. Brassa	0,0055066	$\frac{1}{314,3}$
London u. Hare J.	0,0055082	$\frac{1}{314,2}$
Brassa u. Hare J.	0,0055139	$\frac{1}{313,6}$
London u. Melville	0,0055258	$\frac{1}{312,6}$

d) Von grofser Wichtigkeit sind ferner diejenigen Pendelmessungen, welche die Französischen Gelehrten während der wissenschaftlichen Reise unter dem Commando des Capitain Freycinet anstellten[1]. Sie bedienten sich hierbei dreier unveränderlicher Pendel mit messingnen Stangen von Fortin, und eines vierten mit hölzerner Stange von Bréguet, fanden aber den Gang des letzteren zu wenig regelmäfsig, und haben daher die Resultate jener zuerst für sich allein berechnet. Diese Pendel wurden auf einem aus drei Stützen von Gufseisen bestehendem Stative aufgehangen, welches auf einem Grunde aus Mauerwerk aufgestellt, und zur Abhaltung des Luftzuges mit einem Glaskasten umgeben war. Um die Schwingungen zu zählen, verglichen sie diese nicht mit einer Pendeluhr vermittelst der Coincidenzen der beiderseitigen Schwingungen[2], sondern mit einem astronomischen Secundenzähler, dessen Linse beweglich war, so dafs derselbe gleichzeitig schwingend mit dem Pendel gemacht werden konnte, und dann wurde dieser Secundenzähler wieder durch zwei Beobachter mit den astronomisch regulirten Chronometern verglichen. Der richtige Gang des Secundenzählers kommt zwar bei der gewählten Beobachtungsmethode nicht in Betrachtung, ob aber ein vollständiger Isochronismus seiner Schwingungen und derer des gemessenen Pendels bei sehr kleinen Schwingungsbogen des letzteren jederzeit erhalten wurde, dieses bleibt mindestens fraglich. Dazu ist es zweifelhaft, ob ein frisch gemauertes, und also wankendes oder elastisches Fundament, selbst bei übergelegten gehauenen Steinplatten, dem Stative des Pendels für so feine Messungen eine

1 Voyage autour du Monde entrepris par Ordre du Roi etc. par M. Louis de Freycinet etc. Observations du Pendule. Par. 1826. 4.

2 Vergl. *Pendel.*

hinlängliche Festigkeit gewährte. Endlich konnten kleine Fehler dadurch einschleichen, daſs zwei Beobachter[1] zur Messung der Zeit sich durch einen Laut (le mot: *top*) ein Signal gaben, und dieser Fehler wurde constant, wenn die Beobachter nicht wechselten[2]. Eine genaue Prüfung der mit groſser Sorgfalt angestellten und mit ausnehmendem Fleiſse berechneten Beobachtungen kann zwar hier nicht mitgetheilt werden, allein diese wenigen Bemerkungen sind nöthig, um es zu rechtfertigen, wenn ich den erhaltenen Resultaten diejenige Beweiskraft nicht zugestehe, welche Freycinet ihnen beilegt, um so mehr, als die geognostische Beschaffenheit der Beobachtungsorte überall nicht angegeben und berücksichtigt ist.

Aus den, an 9 verschiedenen Orten angestellten, auf die erforderliche Weise sorgfältig corrigirten[3] Messungen ergeben sich nämlich die folgenden für das Niveau des Meeres, den leeren Raum und 20° C. der Temperatur corrigirten Schwingungen und Längen des einfachen Secundenpendels für Sexagesimalsecunden in der Art und Reihenfolge, wie sie durch Freycinet zusammengestellt sind.

Beobachtungsort	Breiten	Schwingungen	Längen
Paris	48° 50′ 14″n	86400″,000	1,0000271
Rio de Janeiro	22 55 13 s	86306,471	0,99783538
Cap d. gut. Hoff.	33 55 15 s	86344,289	0,99871582
Ile de France	20 9 56 s	86310,572	0,99704215
Insel Rawak	0 1 34 s	86273,927	0,99709575
— Guam	13 27 51 n	86296,484	0,99759331
— Mowi	20 52 7 n	86310,399	0,99792816
Port Jakson	33 51 34 s	86346,519	0,99877424
Malvinen	51 35 18 s	86409,520	1,00022319

Werden diese auf die bekannte Weise nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, so geben sie folgende Bedingungsgleichungen.

---

1 a. a. O. p. 9.

2 Vergl. Th. I. Art. *Beobachtung*. S. 387.

3 Vergl. *Pendel*.

$$1{,}00002271 - x - y \cdot 0{,}56677227 = D^1$$
$$0{,}99783538 - x - y \cdot 0{,}15167121 = D^2$$
$$0{,}99871582 - x - y \cdot 0{,}31141614 = D^3$$
$$0{,}99794215 - x - y \cdot 0{,}11884146 = D^4$$
$$0{,}99709575 - x - y \cdot 0{,}00000021 = D^5$$
$$0{,}99759331 - x - y \cdot 0{,}05421317 = D^6$$
$$0{,}99792816 - x - y \cdot 0{,}12689703 = D^7$$
$$0{,}99877424 - x - y \cdot 0{,}31042450 = D^8$$
$$1{,}00022319 - x - y \cdot 0{,}61397729 = D^9$$
$$0{,}99845897 - x - y \cdot 0{,}25046814 = 0$$

$$0{,}56678514 - x \cdot 0{,}56677227 - y \cdot 0{,}32123808$$
$$0{,}15134290 - x \cdot 0{,}15167121 - y \cdot 0{,}02300416$$
$$0{,}31101623 - x \cdot 0{,}31141614 - y \cdot 0{,}09698004$$
$$0{,}11859690 - x \cdot 0{,}11884146 - y \cdot 0{,}01412329$$
$$0{,}00000020 - x \cdot 0{,}00000021 - y \cdot 0{,}00000000$$
$$0{,}05408270 - x \cdot 0{,}05421317 - y \cdot 0{,}00293907$$
$$0{,}12663412 - x \cdot 0{,}12689703 - y \cdot 0{,}01610287$$
$$0{,}31004399 - x \cdot 0{,}31042450 - y \cdot 0{,}09636336$$
$$0{,}61411433 - x \cdot 0{,}61397729 - y \cdot 0{,}37696817$$
$$0{,}25029072 - x \cdot 0{,}25046814 - y \cdot 0{,}10530212 = 0$$

Hieraus ergiebt sich $x = 0{,}99723181$ und $y = 0{,}00489947$, also $\frac{y}{x} = 0{,}00491307$; die Abplattung aber

$$e = \frac{5}{2} k = \frac{y}{x} = 0{,}00865052 - 0{,}00491307$$
$$= 0{,}00373745 = \frac{1}{276{,}6}.$$

Werden die Beobachtungen zu *Guam* weggelassen, so geben die übrigen $\frac{1}{272{,}1}$ und wenn die von *Guam, Ile de France* und *Mowi* ausgelassen werden, $= \frac{1}{286{,}2}$.

Diese unerwartet grofse Abplattung mufste um so mehr auffallen, weil die gleich nachfolgenden Beobachtungen von Sabine damals noch unbekannt waren, als die Französischen Gelehrten die angegebenen Werthe durch ihre scharfen Berechnungen erhielten, und zugleich die aus den Mondsgleichungen gefundene Abplattung von $\frac{1}{305}$ als absolut richtig betrachteten. Freycinet zieht daher aus seinen Messungen folgende allgemeine Schlüsse[1]:

---

1 a. a. O. p. 45.

1. Die Abplattung der südlichen Halbkugel unterscheidet sich nicht merklich von der der nördlichen.

2. Beide sind grölser als $\frac{1}{305}$, welche Excentricität aus den Ungleichheiten des Mondes gefunden ist.

3. Die Berechnungen der Pendelschwingungen einzeln für die südliche und die nördliche Halbkugel geben die Abplattung $=\frac{1}{280}$ und $\frac{1}{282}$.

4. Die Parallele haben keine regelmäfsige Krümmung, und die Erde kann daher nicht als ein regelmäfsiges ellipsoidisches Sphäroid (solide de révolution) angesehen werden, wie dieses auch schon aus früheren Beobachtungen in der alten und neuen Welt hervorgeht.

5. Die Versuche zu *Ile de France*, *Guam* und *Mowi*, verglichen mit denen zu *Paris* geben eine gröfsere Differenz der Pendelschwingungen, als mit der Theorie verträglich ist, und man mufs daher eine bedeutende Ungleichheit der Erdgestalt an diesen drei Orten annehmen.

6. Wenn man diese drei Versuchsreihen wegläfst, welche dem Einflusse örtlicher Bedingungen zu sehr unterliegen, so wird die mittlere Abplattung des Erdballes $=\frac{1}{286{,}2}$ gefunden, bei welchem endlichen Resultate der Versuche man vor der Hand stehen bleiben mufs, bis die vorliegende Frage durch fortgesetzte Versuche weitere Aufklärung erhält.

Inzwischen stimmt dieses Endresultat mit dem durch Sabine gefundenen so nahe überein, als nach der Natur der Beobachtungen erwartet werden kann, und die folgenden Untersuchungen werden überhaupt darthun, welche von den hier angegebenen Folgerungen richtig sind.

e) Bei weitem die umfassendste, wichtigste und zu den entscheidendsten Resultaten führende Reihe von Beobachtungen des einfachen Secundenpendels, welche einen Bogen von 13° S. B. bis 80° N. B. in sich begreift, verdankt die gelehrte Welt dem wissenschaftlichen Eifer und den hochherzigen Aufopferungen *Englands*. Obgleich weniger mühsam und kostspielig, als die Reisen zur Entdeckung einer nordwestlichen Durchfahrt, ist diese Expedition des Capt. Sabine nicht weniger fruchtbar für die mathematische Geographie gewesen. Von einem

so geübten Beobachter ließen sich keine andere, als sehr genaue Resultate erwarten, und dieses hat der Erfolg auch völlig gerechtfertigt, wobei hauptsächlich noch *der* Vortheil in Anschlag zu bringen ist, daſs im Winter zwischen 1822 und 1823, desgleichen im Anfange des Jahres 1824 die gebrauchten Pendel in London nicht bloſs mit dem Normalpendel verglichen wurden, sondern auch genau in denjenigen künstlich hergestellten Temperaturen oscillirten, denen sie an den verschiedenen Beobachtungsorten ausgesetzt gewesen waren, um hiernach den Einfluſs der Ausdehnung durch die Wärme empirisch zu corrigiren. Die Resultate seiner Messungen, gleichfalls nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, zeigt folgende Zusammenstellung:

Beob. Ort.	Breiten	Beob. Pendellängen.	x	y Sin.$^2\varphi$	Diff.
St. Thomas	00° 24′ 41″	39,02074	— x	— 0,0000515 y	$= D^1$
Maranham	02 31 43 s	39,01214	— x	— 0,0019464 y	$= D^2$
Ascension	07 55 48 s	39,02410	— x	— 0,0190338 y	$= D^3$
Sierra Leone	08 29 28	39,01997	— x	— 0,0218023 y	$= D^4$
Trinidad	10 38 56	39,01884	— x	— 0,0341473 y	$= D^5$
Bahia	12 59 21 s	39,02425	— x	— 0,0505201 y	$= D^6$
Jamaica	17 56 07	39,03510	— x	— 0,0948286 y	$= D^7$
New-York	40 42 43	39,10168	— x	— 0,4254385 y	$= D^8$
London	51 31 08	39,13929	— x	— 0,6127966 y	$= D^9$
Drontheim	63 25 54	39,17456	— x	— 0,7999544 y	$= D^{10}$
Hammerfest	70 40 05	39,19519	— x	— 0,8904120 y	$= D^{11}$
Grönland	74 32 19	39,20335	— x	— 0,9289304 y	$= D^{12}$
Spitzbergen	79 49 58	39,21469	— x	— 0,9688402 y	$= D^{13}$
		39,09107	— x	— 0,3729771 . y	= 0

Wird aus dieser ersten Reihe der Bedingungsgleichungen die zweite gebildet, so erhält man:

$$
\begin{array}{r}
-\ 0{,}002012 + x\,0{,}0000515 + y\,0{,}0000000 \\
-\ 0{,}075934 + x\,0{,}0019464 + y\,0{,}0000038 \\
-\ 0{,}742778 + x\,0{,}0190338 + y\,0{,}0003623 \\
-\ 0{,}850725 + x\,0{,}0218023 + y\,0{,}0004753 \\
-\ 1{,}332390 + x\,0{,}0341473 + y\,0{,}0011660 \\
-\ 1{,}971510 + x\,0{,}0505201 + y\,0{,}0025523 \\
-\ 3{,}701643 + x\,0{,}0948286 + y\,0{,}0089924 \\
-16{,}635365 + x\,0{,}4254385 + y\,0{,}1809980 \\
-23{,}984428 + x\,0{,}6127966 + y\,0{,}3755200 \\
-31{,}337865 + x\,0{,}7999544 + y\,0{,}6399270 \\
-34{,}899873 + x\,0{,}8904120 + y\,0{,}7928336 \\
-36{,}417184 + x\,0{,}9289304 + y\,0{,}8629118 \\
-37{,}992760 + x\,0{,}9688402 + y\,0{,}9386515 \\
\hline
-14{,}611113 + x\,0{,}3729771 + y.\,0{,}2926457 = 0
\end{array}
$$

Hieraus ergiebt sich $x = 39{,}01568$ und $y = 0{,}20213$, woraus nach dem von KATER angenommenen Werthe von k die Abplattung $= \frac{1}{288{,}4}$ ist.

SABINE nimmt zu dieser Reihe von beobachteten Pendelschwingungen noch die beiden unter a und b mitgetheilten hinzu, um auf diese Weise aus allen, nach der nämlichen Methode berechneten Pendellängen ein möglichst genaues Resultat zu erhalten. Wären seine eigenen Beobachtungen ungenau, so müfste durch die hinzukommende bedeutende Zahl ein merklich abweichendes Resultat zum Vorschein kommen, welches aber nicht der Fall ist. Zuvor unterwirft er die durch Capt. KATER angestellten Messungen einer abermaligen Revision, und erhält dadurch verbesserte Gröfsen der gefundenen Pendellängen. Wenn nun dieses zwar mit der von KATER behaupteten Genauigkeit seiner Angaben auf den ersten Blick nicht übereinzustimmen scheint, so steigt das Vertrauen auf diese Messungen vielmehr bei näherer Prüfung, indem die gemachten Abänderungen nur einmal eine Einheit in der dritten Decimalstelle betragen, übrigens sämmtlich die vierte Decimalstelle treffen, und viermal positiv, zweimal dagegen negativ sind. Die Berechnung dieser sämmtlichen Beobachtungen von SABINE und KATER ausführlich mitzutheilen scheint mir überflüssig, da die dabei zum Grunde liegenden Gröfsen in der nächstfolgenden allgemeinen Uebersicht enthalten sind, aus welcher sie daher entnommen und zur Berechnung nach der mitgetheilten Methode benutzt werden können. Die daraus gefundene Abplattung beträgt indefs $\frac{1}{289{,}5}$, und weicht somit nur unbedeutend von derjenigen ab, welche aus SABINE's Messungen allein folgt. Damit aber dieses Resultat ein noch gröfseres Gewicht erhalte, werden auch die französischen Messungen auf ein sexagesimal-Secundenpendel reducirt, und mit der durch SABINE erhaltenen Reihe zusammengenommen, und hieraus folgt abermals die Abplattung sehr übereinstimmend mit beiden früheren Resultaten $= \frac{1}{288{,}7}$.
Einen auffallenden Beweis der genauen Uebereinstimmung dieser aus drei Reihen von 13, dann 19 dann 21 verglichenen Beobachtungen erhaltenen Resultate unter sich und mit den einzelnen Bestimmungen giebt die folgende Zusammenstellung, worin

die Werthe von x und y aus den sämmtlichen Beobachtungen gefunden, und hiernach die Gröfsen in der fünften Columne berechnet sind. Der Inhalt der übrigen Columnen ist für sich klar.

Oerter.	Breiten	Beob. Pendel. =39, +	Beobachter.	Berech. Pendel. =39, +	Diff.
St. Thomas	00° 24′ 41″	02074	Sabine	01520	+00554
Martinham	02 31 43	01214	—	01559	−00345
Ascension	07 55 48	02410	—	01905	+00505
Sierra Leone	08 29 28	01997	—	01961	+00036
Trinidad	10 38 56	01884	—	02211	−00327
Bahia	12 59 21	02425	—	02543	−00118
Jamaica	17 56 07	03510	—	03440	+00070
Formentera	38 39 56	09176	Biot	09422	−00246
New-York	40 42 43	10168	Sabine	10133	+00035
Figeac	44 36 45	11212	Biot	11506	−00294
Bordeaux	44 50 26	11295	—	11586	−00291
Clermont	45 46 48	11612	—	11918	−00306
Paris	48 50 14	12894	—	12994	−00100
Shanklin	50 37 24	13606	Kater	13617	−00011
Dünkirchen	51 02 10	13771	Biot	13760	+00011
London	51 31 08	13929	Kater	13926	+00003
Arbury H.	52 12 55	14223	—	14165	+00058
Clifton	53 27 43	14593	—	14590	+00003
Leith	55 58 39	15547	—	15427	+00120
Portsoy	57 40 59	16161	—	15979	+00182
Unst	60 45 26,5	17164	—	16934	+00230
Drontheim	63 25 54	17456	Sabine	17715	−00259
Hammerfest	70 04 05	19519	—	19546	−00027
Grönland	74 32 19	20335	—	20326	+00009
Spitzbergen	79 49 58	21469	—	21134	+00335

Die Pendellängen von *Leith* und *Unst* sind das arithmetische Mittel aus den Messungen von Kater und Biot, welche nur unbedeutend abweichen. Für jenen Ort nämlich erhielt Biot 39,15538 und Kater 39,15556 Zolle, für diesen Biot 37,17177 und Kater 39,17151 Z. so dafs also dort die Differenz negativ, hier positiv ist, welches gegen die

Voraussetzung eines constanten Fehlers bei beiden Reihen von Beobachtungen streitet. Die hiernach aus allen Messungen gefundene Pendellänge unter dem Aequator im englischen Maſse, ist $x = 39{,}01520$ und die Zunahme desselben am Pole, oder $y = 0{,}20245$, welches eine Abplattung von $\frac{1}{289{,}1}$ giebt.

Es muſs etwas auffallen, daſs Sabine die oben unter c erwähnten Pendelmessungen, desgleichen einige einzelne, welche gleichfalls mit Kater's unveränderlichem Pendel angestellt sind, nicht gleichfalls mit in Rechnung genommen oder wenigstens verglichen hat. Um diesen Mangel zum Theil zu ersetzen, füge ich die mir bekannt gewordenen hier hinzu, wobei es mir indeſs überflüssig und selbst nicht einmal zweckmäſsig scheint, sie den bisher mitgetheilten anzureihen und die ganze Summe aufs Neue nach der angegebenen Methode in Rechnung zu nehmen. Sollte dieses ohne nachtheiligen Einfluſs auf die Richtigkeit des zu erhaltenden Resultates geschehen, so müſsten auf allen Fall die Originalbeobachtungen mit mehrerem Rechte, als bei den von Kater angestellten geschehen ist, einer neuen Revision unterworfen werden, um die Fehlergrenze bei denselben, und hiernach ihren Werth zur Bestimmung der fraglichen Gröſse genau zu kennen, welches nicht bloſs sehr mühsam seyn würde, sondern wozu mir selbst die erforderlichen Mittel fehlen. Deswegen nehme ich sie so, wie sie in den angegebenen Quellen mitgetheilt sind, und vergleiche sie mit derjenigen Gröſse, welche das Pendel nach der zuletzt von Sabine gebrauchten Formel, nämlich $x' = x\,(1 + y\ \mathrm{Sin.}^2\,\varphi)$ haben müſste. Die einzelnen Beobachtungen, auſser denen unter c mitgetheilten, sind folgende.

f) Versuche mit Kater's unveränderlichem Pendel durch Capt. Basil Hall auf den *Gallopagos-Inseln* unter 0° 32′ 19″ N. B. und 90° 30′ W. L. von Greenwich angestellt gaben die Länge des Secundenpendels daselbst = 39,01717 engl. Z. Die Vergleichung dieser Messung mit den sieben von Kater angestellten giebt die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator = 39,017196 Z., die Zunahme der Schwere am Pole = 0,0051412 und die Abplattung $= \frac{1}{284{,}98}$.

g) Ebenderselbe mafs die Länge des Secundenpendels zu *San Blas* in *Mexico* unter 21° 32′ 24″ N. B. und 105° 15′ W. L. von Greenwich, und fand sie = 39,03776 e. Z. Die Vergleichung mit Kater's sieben Messungen in Grofsbritannien gab die Länge des Pendels unter dem Aequator = 39,00904 die Zunahme der Schwere = 0,0054611 und die Abplattung = $\frac{1}{313,55}$.

h) Foster stellte an eben diesem Orte eine Reihe von Beobachtungen an, und fand die Länge des einfachen Secundenpendels daselbst = 39,03881 e. Z., welches Resultat von dem vorigen doch stärker abweicht, als bei absoluter Genauigkeit der Fall seyn müfste. Eine auf gleiche Weise als bei jener angestellte Vergleichung giebt die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator = 39,01036 e. Z. die Abnahme der Schwere von den Polen an = 0,0054095 und hiernach die Abplattung = $\frac{1}{308,56}$.

i) Auch zu *Rio de Janeiro* wurden durch Hall ähnliche Beobachtungen angestellt. Die Breite des Beobachtungsortes wurde = 22° 55′ 22″ S., die Länge 43° W. von Greenwich, und die Länge des Pendels = 39,04381 e. Z. gefunden. Eine Vergleichung mit den mehrerwähnten brittischen Messungen gab die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator = 39,01223, die Abnahme der Schwere vom Pole an = 0,0053365 und somit die Abplattung = $\frac{1}{301,77}$.

k) Der oben genannte Foster beobachtete an eben diesem Orte, fand sehr nahe übereinstimmend die Länge des Pendels = 39,04368 Z. Um aber an einem Beispiele zu zeigen, wie aufserordentlich genau Kater's mit den bisher erwähnten verglichene Messungen sind, und dafs sie mit gleich genauen, unter minderen Breiten ausgeführten allerdings ein richtiges Resultat zu geben sich eignen, möge folgende Zusammenstellung dienen. Die eben genannte Bestimmung Foster's mit den durch Kater gefundenen Gröfsen verglichen, giebt folgende Werthe.

Verglichener Beob. Ort.	Abnahme d. Schwere	Länge des Secund. Pend.	Nenner der Abplat.
Unst	0,0053726	39,01188	305,07
Portsoy	0,0053732	39,01188	305,13
Leith	0,0053570	39,01198	303,63
Clifton	0,0053109	39,01225	299,44
Arbury H.	0,0053565	39,01198	303,59
London	0,0053151	39,01223	299,81
Shanklin F.	0,0053163	39,01222	299,92
Mittel	0,0053431	39,01206	302,37

Diese Uebersicht zeigt, daſs die drei mittleren Werthe für die Abnahme der Schwere, die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator und die Abplattung von den oben mitgetheilten Bestimmungen nicht sehr abweichen, und unter einander selbst noch geringere Differenzen zeigen[1].

l) Auch in *Paramatta* unter 33° 48′ 43″ S. B. und 151° 0′ 15″ O. L. von Greenwich, beobachtete Brisbane[2] ein Katersches Pendel, und veranlaſste auch Dunlop zu einer Reihe von Beobachtungen, beide um so wichtiger, je seltener damals noch solche Messungen auf der südlichen Halbkugel waren. Brisbane fand die Länge des Secundenpendels in *Paramatta* = 39,07696 e. Z. welches mit Kater's Messung in *London* verglichen die Abnahme der Schwere = 0,0052704 und die Abplattung $\frac{1}{295,84}$, mit der zu *Unst* aber jene 0,0053605, diese $\frac{1}{303,95}$ giebt. Dunlop fand die Länge des Secundenpendels wenig abweichend = 39,07751, und hiernach durch die Vergleichung mit *London* jene Gröſse = 0,0052238, diese = $\frac{1}{291,83}$; mit *Unst* jene = 0,0053292 diese = $\frac{1}{301,09}$.

m) Goldingham war einer der ersten, welcher ein regulirtes Kater'sches Pendel mit nach *Madras* nahm. Aus den Schwingungen desselben dort unter 13° 4′ 9″,1 N. B. berechnete er die corrigirte Länge = 39,026302, welche Gröſse mit

1 Diese fünf einzelnen Beobachtungen findet man erwähnt und berechnet in Phil. Trans. 1823. T. II. p. 211.

2 Phil. Tr. a. a. O. p. 315.

der von KATER für *London* gefundenen verglichen die Abplattung $= \frac{1}{297,56}$ giebt[1].

Da man diese sämmtlichen Beobachtungen nichts weniger als ungenau nennen kann, hauptsächlich aber weil sie unter verschiedenen südlichen und nördlichen Breiten und in sehr abweichenden Längen angestellt sind, so scheint es mir allerdings der Mühe werth, auch diese auf die nämliche Weise wie durch SABINE bei den oben mitgetheilten geschehen ist, nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, und das Resultat mit dem oben erhaltenen zu vergleichen[2]. Dieses giebt folgende Uebersicht.

Gallopagos	00° 32′ 19″;	$39,01717 - x - 0,0000884 . y = D^1$
Madras	13 04 09;	$39,02630 - x - 0,0511334 . y = D^2$
San Blas	21 32 24;	$39,03828 - x - 0,1347996 . y = D^3$
Rio de Jan.	22 55 22;	$39,04374 - x - 0,1517026 . y = D^4$
Paramatta	33 48 43;	$39,07723 - x - 0,3096577 . y = D^5$
Brassa	60 09 42;	$39,16929 - x - 0,7524400 . y = D^6$
Hare Is.	70 26 17;	$39,19840 - x - 0,8878917 . y = D^7$
Melville	74 47 12;	$39,20700 - x - 0,9311400 . y = D^8$

$$39,0971765 - x - 0,321885336 . y = 0$$

$$\begin{array}{rl} - 0,00345 + x . 0,0000884 & + y . 0,0000000 \\ - 1,99555 + x . 0,0511334 & + y . 0,0026146 \\ - 5,26234 + x . 0,1347996 & + y . 0,0181709 \\ - 5,92303 + x . 0,1517026 & + y . 0,0230136 \\ - 12,10056 + x . 0,3096577 & + y . 0,0958850 \\ - 29,47254 + x . 0,7524400 & + y . 0,5661657 \\ - 34,80393 + x . 0,8878917 & + y . 0,7883516 \\ - 36,50721 + x . 0,9311400 & + y . 0,8670258 \end{array}$$

$$- 15,758576 + x . 0,402356675 + y . 0,2951534 = 0$$

---

1 Phil. Trans. 1822. I. 167.

2 Die Pendelmessung, wonach Capt. CHRIST die Länge des einfachen Secundenpendels auf der kleinen Insel *Gounsah-Lout* bei *Bencoolen* unter 0° 1′ 48″,78 N. B. = 39,02125994 engl. Z. fand, habe ich weggelassen, weil ihre Genauigkeit weniger verbürgt ist. S. Phil. Mag. LXV. 394. einen Auszug aus einer weitläuftigen Abhandlung im Asiatic Journal.

Hieraus ergiebt sich die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator oder $x = 39{,}01393$, die Zunahme der Schwere nach dem Pole hin, oder $y = 0{,}2068915$, und die Abplattung oder $\frac{5}{2}k - \frac{y}{x} = 0{,}0086501 - 0{,}0053030 = 0{,}0033471$ oder $= \frac{1}{298{,}76}$. Gäben wir diesen Messungen einen gleichen Werth als den von Sabine berechneten, so würde aus jenen und diesen zusammengenommen eine Abplattung $= \frac{1}{291{,}24}$ folgen; sollen sie aber nur einen halb so grofsen Werth erhalten als jene, so würde eine Ellipticität $= \frac{1}{290{,}3}$ herauskommen, nimmt man endlich alle zuletzt erwähnten genaueren (unter d bis m aufgezählten) 45 Beobachtungen zusammen, giebt allen einen gleichen Werth, und sucht aus ihnen das arithmetische Mittel, so erhält man hiernach die Abplattung $= \frac{1}{288{,}96}$ oder sehr nahe $= \frac{1}{289}$. Auf allen Fall ergiebt sich so viel, dafs die durch Sabine und die durch die französischen Geometer in Frankreich angestellten Versuche am genauesten übereinstimmende Resultate geben, von welchem die zuletzt erwähnten, mit Kater's unveränderlichem Pendel angestellten, von Sabine aber nicht mit in Rechnung genommenen, Versuche nur unbedeutend abweichen. Noch deutlicher geht dieses aus der folgenden Zusammenstellung hervor, worin die durch Messung gefundenen Pendellängen mit denen verglichen sind, welche aus der Formel $x' = x + y \sin.^2 \varphi$ folgen, für x und y die von Sabine gefundenen Werthe genommen[1].

---

1 Bei der vorhergehenden Berechnung ist für *San Blas* und *Rio de Janeiro* das arithmetische Mittel aus den Bestimmungen von Hall und Foster gesetzt, für *Paramatta* das arithmetische Mittel aus den durch Brisbane und Dunlop gefundenen Gröfsen.

Beob. Orte.	Beobachter	Breiten	beob. Pendel	berech. Pend.	Differ.
Gallopagos	HALL	00° 32′ 19″	39,01717	39,01522	+ 0,00195
Madras	GOLDINGHAM	13 04 09	39,02630	39,02555	+ 0,00075
San Blas	HALL	21 32 24	39,03776	39,04249	— 9,00473
— —	FOSTER	21 32 24	39,03881	39,04249	— 0,00368
Rio de Jan.	HALL	22 55 22	39,04381	39,04591	— 0,00210
— —	FOSTER	22 55 22	39,04368	39,04591	— 0,00223
Paramatta	BRISBANE	33 48 43	39,07696	30,07788	— 0,00092
— —	DUNLOP	33 48 43	39,07751	39,07788	— 0,00037
Brassa	SABINE	60 09 42	39,16929	39,16753	+ 0,00176
Hare Isl.	—	70 26 17	39,19840	39,19495	+ 0,00345
Melville	—	74 47 12	39,20700	39,20371	+ 0,00329

Werden zuerst die Pendelmessungen für sich allein als Mittel zur Bestimmung der Abplattung näher beleuchtet, so folgen aus den gegebenen Uebersichten und aus demjenigen, was SABINE in seinem schätzbaren Werke mitgetheilt hat, zunächst nachstehende Schlüsse.

1. Vor allen Dingen müssen viele und weit von einander abstehende Beobachtungen in Rechnung genommen werden, wenn man ein nahe richtiges Resultat erhalten will. Dieses ergiebt sich insbesondere aus der Gröſse der Abplattung, welche die über kürzere Bogen ausgedehnten einzelnen Beobachtungsreihen geben. BIOT fand dierecte aus der Summe seiner Messungen diese Gröſse $= \frac{1}{304}$, allein wegen der Autorität, welche LA PLACE's Angabe sich erworben hatte, suchte er jene dieser anzupassen, was auch keine groſsen Abweichungen gab. Die Reihe der durch KATER veranstalteten Messungen über einen weit kürzeren Bogen giebt allerdings sehr weit aus einander liegende Bestimmungen, deren mittlere im Maximo $\frac{1}{319,82}$ beträgt, und also nicht vermuthen läſst, daſs die ungleich richtigere Bestimmung so hoch hinaufgehen könnte, als wirklich der Fall ist. Die Ursache einer so geringen Uebereinstimmung liegt sehr nahe, und sie wird nicht befremden, wenn man berücksichtigt, daſs die ganze Differenz der Pendellänge am Pole

über die unter dem Aequator nur etwas über 0,2 engl. Zoll beträgt, weswegen unbedeutend kleine Fehler noch immer eine sehr grofse Differenz des Resultates herbeiführen können. Kater glaubte sich daher berechtigt, aus seinen Messungen den Schlufs zu folgern, dafs das erhaltene Resultat sich den bekannten anderweitigen Bestimmungen der Abplattung anreihen lasse[1], und es würden daher die mühvollen und kostbaren Bemühungen der französischen und englischen Gelehrten die Sache selbst um nichts mit Sicherheit weiter gebracht haben, wenn nicht Sabine's Messungen hinzugekommen wären.

2. Vor allen Dingen mufs bei den Beobachtungsarten für Pendelschwingungen die geognostische Beschaffenheit des Ortes genau beachtet, und entweder mit in Rechnung genommen werden, oder es müssen aus gleichen Breiten gleich viele Beobachtungen über schwererem und leichterem Boden zur Erhaltung eines genauen arithmetischen Mittels dienen[2]. Sabine hat hierüber die interessantesten Erfahrungen gemacht, und bemerkt, dafs die Erhebung über der Meeresfläche von geringerer Bedeutung ist, als die Beschaffenheit des Bodens, desgleichen dafs die tiefer liegenden Erdschichten keinen so grofsen Einflufs haben als die Oberfläche, oder genauer, dafs die allgemeine Beschaffenheit der Erdrinde die Pendelschwingungen weniger afficirt als die oberen und nebenliegenden Schichten[3]. Der Ein-

1 Kater sagt Phil. Tr. 1821. I. p. 94. It will perhaps be allowable to consider $\frac{1}{305,32}$ the mean of these last results, as the true compression, and this would agree very nearly with the deduction of Mr. La Place from the lunar irregularities; with the result of Dr. Young's interesting and novel investigation, by a comparison of the mean, with the superficial density of the earth; and with the conjecture I have hazarded from the compression given by the experiments on the length of the pendulum at Unst and Portsoy.

2 Vergl. La Place In Connaiss. des Temps. 1821. Auch Freycinet fand zu *Ile de France* eine sehr bedeutende örtliche Anziehung S. Connaiss. des Tems. 1818. p. 246.

3 a. a. O. p. 332... the local variations of gravity are influenced far more considerably by the density of the masses, on which the pendulum is immediately placed, than on the general disposition of the surface. Es ist mir hierbei besonders aufgefallen, dafs basaltischer und sonstiger vulcanischer Boden so stark anziehend wirkt, da man eine Compensation durch die muthmafslich tiefer liegenden

flufs ist so bedeutend, dafs SABINE meint, es lasse sich aus den Pendelschwingungen die Beschaffenheit der oberen Erdschichten an verschiedenen Orten bestimmen. Beides, sowohl die Gröfse solcher örtlichen Einflüsse, als auch dafs dieselben bei SABINE's Messungen ziemlich vollständig ausgeglichen sind, zeigt folgende Zusammenstellung:

Stationen	Unterschied d. berechneten u. gemessenen Pendellängen	Excefs oder Defect der Schwingungen	Geognostische Beschaffenheit des Bodens
St. Thomas	+ 0,00506	+ 5,58	Basaltischer Felsen.
Maranham	— 0,00393	— 4,34	Angeschwemmter Boden.
Ascension	+ 0,00457	+ 5,04	Dichter vulcanischer Felsen.
Sierra Leone	— 0,00012	— 0,12	Schnell verwitternder Granit.
Trinidad	— 0,00374	— 4,12	Angeschwemmter Boden.
Bahia	— 0,00164	— 1,80	Tiefes Erdreich auf Sandstein.
Jamaica	+ 0,00025	+ 0,28	Kalkfelsen.
Newyork	+ 0,00001	0,00	100 F. tiefes Sandlager über Serpentin.
London	— 0,00025	— 0,28	Kies nnd Kalk.
Drontheim	— 0,00282	— 3,10	Thonboden über Glimmerschiefer.
Hammerfest	— 0,00047	— 0,52	Glimmerschiefer.
Grönland	— 0,00009	— 0,08	Sandstein.
Spitzbergen	+ 0,00318	+ 3,50	Quarzfelsen.

Man sieht, dafs sich die leichteren und schwereren Lagerungen so ziemlich ausgleichen, und wenn die letzteren etwa mehr nach einer Seite hin fallen, so wäre dieses nach der südlichen, und ein hieraus entspringender Fehler müfste die Abplättung geringer geben, als sie wirklich ist. Auffallend ist dabei blofs, dafs das tiefe Sandlager in *Newyork* keinen negativen Fehler gegeben hat, da dieses doch beim Sandsteine in *Grönland* der Fall ist. Erklärlich würde dieses werden durch die Voraussetzung, dafs der Sandstein kalkhaltig, der Sand dagegen rein quarzig seyn mag. In der gegebenen Uebersicht stehen übrigens die basaltischen, die vulcanischen und die Quarzfelsen dem aufgeschwemmten Erdreiche im stärksten Gegensatze

Höhlungen erwarten könnte. Beobachtungen in verschiedenen Puncten auf Island wären in dieser Hinsicht von grofser Wichtigkeit.

entgegen, alle anderen weichen dagegen von einem mittleren Werthe der Dichtigkeiten nicht sehr ab, wie SABINE durch folgende Zusammenstellung anschaulich macht, welche aus den Pendelschwingungen gefolgert füglich als allgemeines Mafs der Dichtigkeiten in Beziehung auf die Kraft der Anziehung gelten kann.

Stationen	Excefs oder Defect	Dichtigkeits-Scale	Geognostische Beschaffenheit
St. Thomas	+5,58	100	Schwerer Basalt.
Ascension	+5,04	94	Dichter vulcan. Felsen.
Spitzbergen	+3,50	79	Mächtiges Quarzlager.
Jamaica	+0,28	45	Kalkfelsen (Urkalk).
New-York	0,00	43	Sand auf Serpentin.
Grönland	—0,08	43	Zerfallener Sandstein.
Sierra Leone	—0,12	42	Einige Fufs Erde über verwittertem Granit.
London	—0,28	41	Kies und Kalk.
Hammerfest	—0,52	37	Glimmerschiefer, die Halbinsel von tiefem Wasser umgeben.
Bahia	—1,80	26	Einige Fufs Dammerde über Sandstein.
Drontheim	—3,10	12	Thonboden über Glimmerschiefer.
Trinidad	—4,12	2	Aufgesch. Erdreich und Sand.
Maranham	—4,34	1	Desgleichen.

3. Rücksichtlich auf die Gestalt der Erde ist durch die angegebenen Pendelbeobachtnngen so viel mit Gewifsheit ausgemacht, dafs die südliche Halbkugel auf gleiche Weise als die nördliche gekrümmt seyn mufs, und somit ein aus LA CAILLE's Messung auf dem *Cap der guten Hoffnung* gefolgerter, und bei vielen Hypothesen zum Grunde gelegter Satz, wonach des Gegentheil statt finden sollte genügend wiederlegt. Die fünf Messungen auf der südlichen Halbkugel, zu *Maranham*, *Ascension*, *Bahia*, *Rio de Janeiro*, und *Paramatta*, welche einen Bogen von 2°,5 bis 33°,75 umfassen, weichen so wenig von den unter fast gleichen nördlichen Breiten angestellten ab, dafs man dieses Mittel zur Bestimmung der Erdgestalt entweder ganz verwerfen, oder beide Halbkugeln für gleichgestaltet halten mufs. Eben dieses Resultat geht auch aus denjenigen Messungen hervor, welche FREYCINET und DUPERREY vorgenommen ha-

ben [1]. Minder nicht darf mit einem hohen Grade der Zuversicht behauptet werden, daſs die Krümmung der verschiedenen Meridiane gleichfalls von einander nicht merklich abweicht, und die Erde also ein regelmäſsiges elliptisches Sphäroid (Éllipsoide de révolution) ist. Wenn manche früher geneigt waren, diesen theoretisch wahrscheinlichen Satz zu bezweifeln, so geschah dieses in Folge der geringen Uebereinstimmung, welche die Resultate der verschiedenen Messungen darboten, indem Sabine [2] vollkommen Recht hat, wenn er solche Ungenauigkeiten nur für geeignet hält, die Sache zu verwirren.

4. So viel aber hierdurch gewonnen ist, so bleibt doch allezeit noch die Hauptfrage zu erörtern, nämlich welches erhältniſs der Erdaxe zum Durchmesser des Aequators aus den Pendelmessungen wirklich folge. Die Beantwortung derselben beruhet auf zwei Stücken, nämlich der *Genauigkeit der Messungen selbst*, und der *Zulässigkeit des Clairaut'schen Theorem's*. Vorläufig kann nicht unbemerkt bleiben, wie auch Sabine sagt, daſs diejenige Gröſse der Abplattung, um welche alle einzelnen Bestimmungen derselben sehr nahe liegen, genau mit dem Verhältniſs der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator zusammenfällt, welches zuverlässig auf ein in der Zukunft wahrscheinlich noch aufzufindendes nothwendiges Naturgesetz deutet.

Die Genauigkeit der Beobachtungen zuvörderst scheint über jeden Zweifel erhaben, und das Zutrauen zu denselben gewinnt um so mehr, je sorgfältiger man das Einzelne prüft. Insbesondere gilt dieses Urtheil von derjenigen Reihe, welche wir dem

1 S. Ann. Ch. Ph. XVI. 397. XXX. 347. Connaiss. des Tems. 1828. p. 246. Freycinet Voyage autour du Monde cet. 1826. p. 45.

2 a. a. O. p. 354.: inexact experiments have tended but to perplex, and even to mislead. Es darf hier jedoch nicht unbemerkt bleiben, daſs auch Dr. Tiarks aus seinen chronometrischen Messungen, verglichen mit geodätischen auf eine Ungleichheit in der Krümmung der Erde geführt wurde, damit die Sache bei ihrem jetzigen Standpuncte künftig noch näher untersucht werde. S. Phil. Mag. 1824. Apr. p. 311. Freycinet's Pendelbeobachtungen und die oben erwähnten letzten Messungen von Längengraden in Frankreich und Italien führen auf ein gleiches Resultat. Indeſs bin ich im Ganzen geneigt, die Erscheinungen, woraus eine Unregelmäſsigkeit der Krümmung zu folgen scheint, theils Beobachtungsfehlern, theils localen Anziehungen beizumessen.

Fleiſse und der Beharrlichkeit des Capt. Sabine verdanken, und wenn man die Uebereinstimmung der erhaltenen Resultate mit denjenigen berücksichtigt, welche aus allen übrigen, von den verschiedensten Beobachtern mit ähnlichen oder ungleichen Apparaten angestellten Versuchen hervorgegangen sind, so muſs man gestehen, daſs nicht leicht ein physikalisches Problem vollständiger gelöset ist, als dieses. Es ist mir auch nicht bekannt, daſs von dieser Seite überall gegründete Einwendungen gemacht sind, auſser etwa diejenigen, welche Galbraith dagegen vorgebracht hat[1]. Dieser macht vorzüglich auf die Ungewiſsheit aufmerksam, welche aus der örtlichen Anziehung des Bodens von individueller Beschaffenheit entstehen könnte. Richtig ist allerdings, daſs bei einer einzelnen Beobachtung dieser Einfluſs nichts weniger als unbedeutend genannt werden darf. Es ergiebt sich dieses insbesondere aus der Betrachtung der fünf ersten, zunächst am Aequator gemessenen Pendellängen zu *St. Thomas*, *Maranham*, *Ascension*, *Sierra Leone* und *Trinidad*. Wollte man die erste mit der zweiten, die dritte mit der vierten, die vierte mit der fünften, sogar noch die erste mit der fünften zusammennehmen, so würde aus allen diesen Vergleichungen eine umgekehrte Abplattung folgen, und wir haben hier also das nämliche Phänomen, welches die englische Gradmessung für sich allein genommen darbietet. Galbraith hat ferner vollkommen Recht, wenn er sagt, daſs man die Pendellänge unter dem Aequator nach den Beobachtungen im Mittel = 39,02 engl. Z. annehmen könne[2], und wenn dann die

---

1 Phil. Mag. LXVII. 161. Ivory prüft in Phil. Mag. and Journ. LXVIII. 1 ff. zuerst Clairaut's Theorem, indem er auch die höheren Potenzen mit in Rechnung nimmt, findet aber das von jenem gefundene Resultat bestätigt. Aus 6 Beobachtungen Sabine's und den beiden zu Paris und Unst durch Biot angestellten findet er dann die Abplattung $= \frac{1}{300}$. In einem späteren Aufsatze ebend. p. 92. vergleicht er die Messungen von Sabine, Kater nebst Biot und die in Frankreich von den französischen Gelehrten angestellten, und findet zwischen den aus diesen drei Reihen erhaltenen Abplattungen einen merklichen Unterschied. Weil er aber Sabine's Werk nicht selbst benutzt zu haben gesteht, so schien es mir überflüssig, mehr als diese Notiz von seiner Arbeit mitzutheilen.

2 Hall's Messung, welche Galbraith hierbei nicht berücksichtigt zu haben scheint, giebt weit richtiger 39,017

Zunahme der Länge des Secundenpendels unter dem Pole = 0,20 engl. Zoll angenommen würde, so gäbe dieses

$$e = 0{,}00865 - 0{,}005125 = 0{,}003525 = \frac{1}{283{,}7}.$$

Genau genommen kann dieser Einwurf aber das Vertrauen auf die erhaltenen Resultate nicht schwächen, und dient vielmehr als ein neuer Grund der Bekräftigung. Man muſs es nämlich wohlnehmen, daſs SABINE die ersten, aller Theorie und dem Ganzen der gesammten Beobachtungen widersprechenden Resultate offen mitgetheilt hat. Die Ursache der Fehler liegt ganz entschieden in der stärkeren Anziehung des vulcanischen Bodens zu St. *Thomas* und *Ascension*, wird indeſs durch die entgegengesetzte Wirkung des leichten Erdreichs zu *Maranham* und *Trinidad*, desgleichen durch die correspondirende anziehende Wirkung des Quarzfelsens auf *Spitzbergen* wieder aufgehoben. Bliebe noch ein Theil des Fehlers zurück, so würde er die Abplattung geringer geben, allein dieses ist aus andern Gründen nicht wahrscheinlich, und es läſst sich daher annehmen, daſs die übrigen Messungen in mittleren Breiten diesen Rest wieder aufheben.

Ungleich schwieriger ist die Entscheidung über die zweite Bedingung der Zuverlässigkeit des erhaltenen Resultates, nämlich die Richtigkeit der Formel, wonach aus den Beobachtungen die Abplattung gefunden ist. Es kommt hierbei lediglich auf die absolute Begründung des von CLAIRAUT aufgestellten Theorem's an. Dieses wird unten noch näher zur Untersuchung kommen, indeſs kann hier vorläufig so viel gesagt werden, daſs nach dem Urtheile der gröſsten Geometer dasselbe als unzweifelhaft betrachtet wird, und unter dieser Voraussetzung darf SABINE's Versuchsreihe sowohl, als auch die Ableitung des Endresultates aus dieser und den beiden anderen, von ihm benutzten, für so vollkommen gelten, daſs hierdurch eine lange untersuchte Aufgabe endlich bis zu einem hohen Grade der Gewiſsheit gelöset ist. Künftige Versuche werden das erhaltene Resultat controliren, zu welchem Ende ihnen aber ein gleicher Grad der Genauigkeit, als der hier benutzte, eigen seyn muſs[1].

---

1 Wenn man von den Messungen FREYCINET's die genauesten unter den niedrigsten und höchsten Breiten mit einander vergleicht, nämlich *Rawak* unter 0° 1′ 34″ S. B. mit *Paris* unter 48° 50′ 14″

Die hierdurch erhaltene Bestimmung ist zu neu, als dafs sie schon von andern beurtheilt und Einwendungen unterworfen seyn sollte. Um so mehr erwähne ich dasjenige, was GALBRAITH auch gegen diese erinnert, weil es auf den ersten Blick bedeutend scheint, bei näherer Betrachtung aber nicht ist. Schon früher[1] berechnete dieser aus den vier Beobachtungen zu *Gallopagos*, *Madras*, *San Blas*, und *Rio de Janeiro*, ferner aus den Französischen, den Englischen durch KATER angestellten, und den zu *Hare Island* und *Melville* auf der Nordpolarexpedition erhaltenen, zusammen also aus 18 Beobachtungen die Abplattung, fand nach der oben gewählten Bezeichnung die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator oder $x = 39{,}011654$ und die Vermehrung derselben am Pole oder $y = 0{,}209068$, woraus also die Ellipticität $= 0{,}0032784 = \frac{1}{305}$ folgt. Eine Zusammenstellung der gemessenen Pendellängen mit denen nach der Formel berechneten gab dann ferner für die niedrigen und hohen Breiten lauter negative Differenzen und für alle zwischenliegenden blofs positive, woraus GALBRAITH folgert, die Erde bilde kein vollkommenes Ellipsoid von $\frac{1}{305}$ Abplattung, sondern sey unter dem 45sten Grade der Breite etwas erhabener. Die wahre Ursache ist indefs, dafs aus den gemessenen Pendellängen eine gröfsere Abplattung folgt, als welche bei der Berechnung zum Grunde liegt[2]. Spä-

N. B. und mit dem *Cap* unter 33° 55′ 15″ S. B. so giebt jenes die Abplattung $= \frac{1}{288}$, dieses $= \frac{1}{291{,}8}$, im Mittel $\frac{1}{289{,}5}$; alle Beobachtungen mit allen 4 Pendeln geben sie im Mittel $= \frac{1}{289{,}56}$. Wollte man indefs auch bei dem durch FREYCINET aus allen Beobachtungen mit den drei messingnen Pendeln erhaltenen mittleren Werthe $= \frac{1}{286{,}2}$ stehen bleiben, so ist doch auf allen Fall eine sehr genaue Uebereinstimmung dieser Gröfsen mit der durch SABINE gefundenen auf keine Weise zu verkennen.

1 Phil. Mag. LXIV. 163. LXV. 12 ff.

2 Ich darf hierbei nicht unbemerkt lassen, dafs bei der oben von mir mitgetheilten Zusammenstellung der von SABINE nicht mit in Rechnung genommenen Messungen gerade das Gegentheil statt findet, indem alle negativen Differenzen in die Mitte fallen. Auch hiervon

ter[1] benutzt Galbraith verschiedene der neuesten, nahe am Aequator und nicht bis zur Hälfte des Erdquadranten reichende Pendelmessungen, um aus diesen die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator nach Sabine's Formel, wonach $x' = 39{,}01520 + 0{,}20245 \text{ Sin.}^2 \varphi$ ist, zu finden, und hiernach die Abplattung zu berechnen. Indem er dann die Beobachtungen zu *St. Thomas* und *Ascension* wegen des örtlichen Einflusses verwirft, erhält er für

Maranham — —	39,01175
Sierra Leone — —	39,01556
Trinidad — — —	39,01193
Bahia — — —	39,01402
Mittel	39,01332

Aus den spanischen Beobachtungen zu

Acapulco — —	39,01126
Manilla — —	39,02067
Umatag — —	39,00157
Zamboanga — —	39,01379
Lima — — —	39,01046
Ile Rabao — —	39,01370
Mittel	39,01191

Aus französischen und englischen zu

Formentera — —	39,01303
Madras — — —	39,01275
San Blas — —	39,01311
Rio Janeiro — —	39,01447
Paramatta — —	39,01250
Mittel[2]	39,01254

---

liegt die Ursache darin, daſs eine gröſsere Excentricität bei der Berechnung zum Grunde gelegt ist, als welche aus den Messungen selbst folgt. Zugleich muſs ich hinzusetzen, daſs die aus den Messungen auf *Gallopagos*, *Madras*, *San Blas* und *Rio de Janeiro* gefundenen Pendellängen durch Galbraith anders angegeben werden, als von mir oben geschehen ist, wodurch das Resultat etwas verschieden ausfällt. Indeſs bin ich der nachgewiesenen Quelle gefolgt, und weiſs nicht, woher Galbraith seine etwas abweichenden Gröſsen genommen haben mag.

1 Phil. Mag. LXVII. 164.

2 Dieses letztere Mittel ist falsch, läſst sich indeſs durch die

Aus allen drei mittleren Werthen folgt $x = 39{,}01295$, und indem Galbraith dann $\frac{5}{2}k = 0{,}008608$ nimmt, so soll statt des durch Sabine gefundenen, oben mitgetheilten Resultates, wonach die Abplattung $= \frac{1}{289{,}1}$ ist, sie vielmehr $e = 0{,}008608 - \frac{0{,}20245}{39{,}0152} = 0{,}003419 = \frac{1}{292{,}5}$ seyn. Aus andern Zusammenstellungen der durch Sabine gefundenen Pendellängen sucht dann Galbraith eine Abplattung herauszubringen, welche von $\frac{1}{305}$ nicht merklich abweicht. Rücksichtlich dieser letzteren Folgerung ist es nicht schwer zu beweisen, daſs einzelne zusammengestellte Pendelbestimmungen der Abplattung geringer geben, da auch andere wiederum sie gröſser darstellen; aber eben deswegen war es zweckmäſsig, die Fehler aller einzelner, übrigens genauer, Beobachtungen gegenseitig auszugleichen. In Beziehung auf die erstere Verbesserung ist indeſs nicht abzusehen, worauf sie sich im Allgemeinen gründet, und wie sie insbesondere aus den Prämissen folgt. Zuvörderst hat Galbraith die Gröſse $\frac{5}{2}k$ durch weitläuftige Rechnungen auf einem mühsameren Wege gesucht, als dieses nach Newton geschieht, und $k = \frac{1}{290{,}428}$ gefunden. Wird statt dessen die gewöhnliche Bestimmung wieder hergestellt, so muſs auch das zuletzt durch Sabine gefundene Resultat wieder herauskommen, so lange die durch denselben gefundenen Werthe von x und y unverändert bleiben. Daſs die letztere geändert werden müsse, sagt Galbraith nicht, für x aber findet er aus der mitgetheilten Zusammenstellung 39,01295 engl. Zolle. Wird dieses als richtig angenommen, so wäre

$$e = 0{,}0086501 - \frac{0{,}20245}{39{,}01295} = 0{,}0034518 = \frac{1}{289{,}7}$$

also nur unbedeutend von Sabine's Bestimmung abweichend. Es ist indeſs klar, daſs aus einer Verminderung des Werthes von x zugleich auch eine Vergröſserung des Werthes von y aus

Aenderung einer einzigen Ziffer in den summirten Gröſsen nicht herstellen, und ich muſs es also unverbessert wiedergeben.

den Beobachtungen folgen mufs. Nach Sabine ist die Länge des Secundenpendels unter dem Pole $= x + y = 39{,}21765$ engl. Zolle. Nimmt man zur Vermeidung weitläuftiger Rechnungen diese Gröfse und die durch Gelbraith gefundene Pendellänge unter dem Aequator als richtig an (welches genau genommen aus begreiflichen Gründen unstatthaft ist), so würde hiernach $y = 0{,}2047$ und die Abplattung

$$e = 0{,}0086501 - \frac{0{,}2047}{39{,}01259} = 0{,}0034033 = \frac{1}{293{,}83}$$

seyn; also schon merklicher abweichen. Hieraus könnte allerdings ein von Galbraith nicht aufgestelltes Argument gegen die Gültigkeit dieser Berechnungsart überhaupt hergenommen werden, dessen Widerlegung keineswegs so leicht ist, als die Beseitigung derjenigen Einwürfe, welche er dagegen vorbringt. Die ganze Berechnung ist nämlich auf kein allgemein gültiges geometrisches Princip gestützt. Offenbar mufs die Abplattung so viel gröfser seyn, je gröfser der Unterschied der Pendellänge unter dem Pole und unter dem Aequator ist, indem sie selbst mit diesem verschwinden würde. Nach der Formel aber wächst der Quotient $y : x$ diesem Unterschiede proportional, die Abplattung wird dann aber im gleichen Verhältnifs kleiner, also gerade umgekehrt, als es der Natur der Sache nach seyn sollte. Im Allgemeinen führt dieses indefs wiederum auf die Gültigkeit von Clairaut's Theoreme, und Galbraith's Gegenbemerkungen und Zweifel sind also bei weitem unbedeutender, als er sie gern ansehen möchte.

5. Endlich kann eine sehr nahe liegende Bemerkung demjenigen nicht entgehen, welcher sich mit der Untersuchung dieses interessanten Gegenstandes beschäftigt. Angenommen nämlich die Abplattung sey durch Sabine genau gefunden, so ist sie gerade dem Verhältnisse der Schwungkraft unter dem Aequator zur Schwere gleich oder $= k$. Nach der Formel ist aber $e = \frac{5}{2} k - \frac{y}{x}$, also wenn $e = k$ ist, so ist $1{,}5\,k = \frac{y}{x}$, und wenn also das Pendel durch die Schwungkraft und die aus der Abplattung der Erde hervorgehende Abnahme der Schwere zugleich afficirt wird, so ist die letztere Gröfse genau der Hälfte der ersteren gleich. Es scheint mir dieses auf eine gewisse innere Consequenz des Theorem's von Clairaut zu deuten, und

nicht minder das Vertrauen auf die Genauigkeit der Pendelmessungen zu erhöhen [1].

D. Gestalt der Erde nach dem Gravitationsgesetze und der Schwungkraft.

Bei der Erläuterung der beiden unter A und C abgehandelten Methoden, deren man sich zur Bestimmung der Gestalt der Erde bedient hat, ist der Gegenstand sowohl rücksichtlich der Messungen als auch der Berechnungen in hinlänglicher Vollständigkeit mitgetheilt. Auch die hier zu erörternde Methode mit gleicher Ausführlichkeit abzuhandeln liegt aufser den Grenzen dieses Werkes, da sie zu der Lösung eines der schwierigsten Probleme gehört, womit die Geometer noch nicht völlig im Reinen sind, und es wird daher genügen, eine Uebersicht des Ganzen und die wichtigste Literatur hier aufzunehmen [2].

Newton, von welchem diese ganze Untersuchung ausgeht, dachte sich zur Versinnlichung der Sache zwei zusammenhängende Säulen einer Flüssigkeit, welche im Centrum des fast kugelförmigen Körpers anfangend sich endigten, die eine unter dem Aequator, die andere unter dem Pole, und suchte bei dieser Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit der als flüssig gedachten Erdmasse die Bedingung des Gleichgewichts. Denkt man sich dann ein elliptisches Sphäroid aus verschwindend dünnen und ähnlichen Lagen bestehend, so ist die Schwere, als die Summe der Anziehungen aller dieser Schichten, am Pole der kleinen Axe proportional. Newton stellte nämlich den Satz auf, dafs irgend ein materieller Punct in einem hohlen elliptischen Sphäroide mit parallelen Schichten von allen Seiten auf gleiche Weise angezogen werde, wonach die oberen Lagen auf die Schwere keinen Einflufs haben, und also in Folge des Gravitationsgesetzes die Schwere aller Puncte auf der Oberfläche

1 Die Uebereinstimmung dieses Resultates mit dem durch Huygens aufgestellten Theoreme ersieht man aus dem folgenden Abschnitte.

2 Vergl. La Place Méc. Cél. T. V. Liv. XI. Ch. 1. Ivory in Phil. Mag. LXVI. 428. Bohnenberger Astronomie p. 426. Die Schwierigkeit der Aufgabe ergiebt sich leicht, wenn man berücksichtigt, dafs nach der Theorie der Anziehung das Gesetz der Schwere an der Oberfläche der Erde von ihrer Gestalt abhängt, welche selbst wieder von jenem Gesetze abhängig ist.

gleichartiger und gleich dichter Körper den linearen Dimensionen dieser letzteren proportional ist. Hiernach ist das Gewicht der angenommenen Wassersäule am Pole gleich dem Producte der Schwere am Pole in die Hälfte der Länge dieser Säule oder in die halbe Axe, und die Schwere der an den Aequator reichenden Wassersäule dem Producte der Schwere unter dem Aequator in den halben Erdhalbmesser, indem die Schwere unter dem Aequator durch die gleichfalls nach dem Centro hin abnehmende Schwungkraft vermindert wird. Für den Zustand des Gleichgewichts ist daher das Product der Schwere unter dem Pole in die halbe Axe gleich der Schwere unter dem Aequator in den halben Durchmesser. Wird dann in einem elliptischen Sphäroide von gleichmäſsiger Dichtigkeit die halbe Axe BC = 100, der halbe Durchmesser AC = 101 angenommen, so würde die Schwere unter dem Aequator = 500 gesetzt, unter dem Pole = 501 werden. Wenn alsdann für den Zustand des Gleichgewichts nach hydrostatischen Gesetzen die Producte der Längen in die Gewichte gesucht und mit einander verglichen werden, so erhält man BC = 100 × 501 = 50100 und für AC = 101 × 500 = 50500, deren Verhältniſs 501 : 505 ist, wonach also unter A ein Ueberschuſs von $\frac{4}{505}$ entsteht, welcher durch die Schwungkraft compensirt werden muſs. Nach einer Art von regula falsi läſst sich hieraus vermittelst der bekannten Schwungkraft die Abplattung berechnen. Indem nämlich dem angenommenen Axenverhältnisse, oder einer Abplattung = $\frac{1}{100}$ eine Schwungkraft = $\frac{4}{505}$ zukommt, so erhält man die Proportionen Fig. 171.

$$\frac{4}{505} : \frac{1}{100} = \frac{1}{289} : x$$

woraus $x = \frac{1}{229}$ gefunden wird. Dieses gäbe also das Verhältniſs der Axe des Erdellipsoids zum Durchmesser nahe = 229 : 230. Diese Bestimmung stellte NEWTON schon 1686 auf[1].

---

1 Phil. nat. Princ. math. L. III. prop. 19. Tom. III. p. 80 ed. Le Seur et Jacquier.

Ohngefähr zwei Jahre später bestimmte HUYGENS[1] die Abplattung nach ähnlichen Grundsätzen, indem er zwei Säulen einer gleichartigen Flüssigkeit annahm, welche durch die vereinten Wirkungen der Schwere und Schwungkraft im Gleichgewichte seyn sollten. Die Centrifugalkraft beträgt unter dem Aequator $\frac{1}{289}$ der Schwere $= k$, und um diese Gröſse muſs also die Schwere dort vermindert seyn. Diese Verminderung ist aber rücksichtlich auf den Druck der angenommenen Wassersäulen den Abständen der einzelnen Theilchen vom Centro direct proportional, mithin im Mittelpuncte selbst $= 0$ auf der Oberfläche unter dem Aequator $= 1$, im Mittel also $= \frac{1}{2}k$, weswegen die Länge der in der Erdaxe liegenden Säule BC $= 1 - \frac{1}{2}k$ $= 1 - \frac{1}{578}$ der andern AC seyn muſs, welches als ein Verhältniſs der Erdaxe zum Durchmesser $= 577 : 578$, und eine Abplattung $= \frac{1}{578}$ giebt. Nach HUYGENS[2] wächst ferner die Schwere vom Aequator nach den Polen den Quadraten der Sinusse der Breite proportional, und wird unter dem Pole $= 1 + 2k$, wenn sie unter dem Aequator $= 1$ ist, wogegen NEWTON das Verhältniſs $1 : 1 + \frac{5}{4}k$ annimmt. Dabei ist es merkwürdig, daſs nach beiden Theorieen die Summe der Gröſse der Abplattung und der Zunahme der Schwere am Pole, die unter dem Aequator als Einheit angenommen $= \frac{5}{2}k$ ist. HUYGENS wollte eigentlich die Aufgabe allgemein auflösen, und diejenige Curve

---

1 HUGENII opera ed. s'Gravesande. L. Bat. 1724. Tom. III. p. 99. Dessen opera reliqua T. I. de causa gravitatis. Discours de la cause de la Pésanteur p. 157. MAIRAN unterschied die ursprüngliche Gestalt der Erde als flüssig gedacht im Zustande der Ruhe, in welchem sie die Kugelgestalt haben muſste, von der späteren durch ihre Rotation enthaltenen. S. Mém. de l'Ac. 1720. Daſs sie als ruhend zur Erzeugung des Gleichgewichts ihrer Theile die runde Gestalt annehmen muſste, bewiesen auſserdem HERMANN s. Phoronomia L. II. prop. 82. p. 364; KRAFT in Com. Soc. Pet. VIII. 224. u. a.

2 La Place a. a. O. p. 5.

finden, welche dem Gleichgewichte eines um seine Axe rotirenden flüssigen Körpers genügt, allein diese war ihm zu schwierig, und wurde erst durch Mac-Laurin gelöset. Im Jahre 1740 gab nämlich die Akademie der Wissenschaften in Paris die Preisfrage über die Ebbe und Fluth auf, unter deren Beantwortungen sich die von Mac-Laurin als ein Muster der geometrischen Construction auszeichnet. Hierin zeigte er, dafs ein flüssiger, um seine Axe rotirender, Körper bei einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Anziehung seiner Theile nur dann zum Gleichgewichte kommt, wenn er die Gestalt eines elliptischen Sphäroids erhält[1].

Bei allen diesen drei angegebnen Versuchen befolgte man die Methode der geometrischen Construction, welche bei Mac-Laurin in höchster Eleganz erscheint. Auch Clairaut[2] betrat anfangs diesen Weg, und zeigte die Gültigkeit der Voraussetzungen, worauf Newton seinen Satz gegründet habe. Später wählte Clairaut[3] den Weg der Analyse, behandelte das Problem in gröfster Allgemeinheit für einen aus gleichartigen oder ungleichartigen Flüssigkeiten bestehenden Körper, und zeigte, dafs bei einer geringen Abweichung von der Kugelgestalt die Form eines an seinen Polen abgeplatteten elliptischen Sphäroids den Bedingungen des Gleichgewichts Genüge leiste. Bei der Vergleichung der Ellipticität der Erde und der Schwere an ihrer Oberfläche findet er dann das im vorigen Abschnitte benutzte merkwürdige Theorem, *dafs für jede Hypothese der Beschaffenheit des Inneren der Erde die Summe der Abplattung und der Vermehrung der Schwere vom Aequator zum Pole* $\frac{5}{2}$ *des Verhältnisses der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator beträgt.*

Clairaut beschränkte seine Untersuchungen auf die elliptische Gestalt. Die späteren Geometer haben die Frage weiter

---

1 Phil. Nat. princ. ed. Le Seur et Jacquier. III. 247. Mc. Laurin Treatise of Fluctions ch. XIV. II. §. 686 ff. Vergl. Bohnenberger Astron. a. a. O.

2 Phil. Trans. 1737. T. XL. p. 19.

3 Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes d' Hydrostatique. Par. 1743. 8. Gehaltvolle Untersuchungen über diesen Gegenstand enthält auch P. Frisii Disquisitio math. in causam physicam figurae et magnitudinis telluris nostrae. Mil. 1752. Timmerman's diss. de figura Terrae. Gandae 1822. 4.

ausgedehnt, nämlich ob auch andere Formen der Bedingung des Gleichgewichts Genüge leisten. D'Alembert[1] behandelte diesen Gegenstand zuerst 1754 und 56, ist aber in seiner Darstellung zu wenig klar und bestimmt. Sowohl umfassender als auch gründlicher sind die Untersuchungen von Le Gendre[2] und insbesondere La Place[3]. Beide vereinigen sich in dem Resultate, daſs die Gestalt eines elliptischen Sphäroids, durch Umschwung um die kleine Axe entstanden, den Bedingungen des Gleichgewichts allein Genüge leistet. Die Zeit der Rotation der Erde ist gegenwärtig eine bestimmte, und hat sich seit Hipparch's Zeiten nach La Place um keine meſsbare Gröſse geändert. Sie würde aber eine merkliche Veränderung erlitten haben, wenn sich ihre Temperatur um eine bedeutende Gröſse geändert hätte, weswegen bei der Bestimmung dieser Rotation und der dadurch erzeugten Schwungkraft, folglich auch der Abplattung, diese Bedingung in Betrachtung kommt. Nicht minder ist die Dichtigkeit der einzelnen Schichten des elliptischen Erdsphäroids gleichfalls zu berücksichtigen. Die Gröſse der Abplattung hängt dann vom Coefficienten der Dichtigkeit ab, und beträgt nach den Bestimmungen von Le Gendre $\frac{1}{306,6}$. Wenn man aber nach La Place sich die Erde aus Wasser bestehend denkt, und annimmt, daſs die Zunahme der Dichtigkeit der Stärke des Druckes der Länge der drückenden Säule proportional ist, den Coefficienten der Zusammendrückung des Wassers aber aus Canton's Versuchen nimmt (nach La Place = 0,000044 für 1 Atmosphäre), so beträgt die Abplattung $\frac{1}{359,54}$ und der Werth von $\frac{y}{x}$ nach der oben gewählten Bezeichnung 0,00587, welches mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt[4].

Ganz zuletzt ist diese Frage mit Rücksicht auf die vorhergehenden Untersuchungen La Place's untersucht durch Ivory[5],

1 Opuscules math. Par. 1768.

2 Mém. de l'Acad. 1784 u. 1789. p. 372.

3 Mém. de l'Acad. 1783 u. 1785. Méc. Cél. T. II. Liv. III. ch. 3. T. V. L. XI. ch. II. p. 22.

4 La Place Méc. Cel. V. 53.

5 Phil. Mag. LXVI. 321 ff. Vergl. Phil. Tr. 1824. p. 85. Poisson über diese Abhandlung in Ann. Chim. et Ph. XXX. 225.

welcher zugleich auf den Umstand aufmerksam macht, dafs die Pendelversuche SABINE's, welche mit Recht, als die umfassendsten und genauesten Versuche dieser Art anzusehen sind, und als das beste Mittel zur Bestimmung der Gestalt der Erde im Allgemeinen gelten müssen, die Abplattung $= \frac{1}{289}$, also genau so grofs als das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere an der Erdoberfläche geben. Unter der Voraussetzung eines früheren flüssigen Zustandes der Erde folgt aus dem Verhältnisse der Abplattung zur Schwungkraft, dafs von der einen Seite weder eine gleichmäfsige Dichtigkeit vom Centro bis zur Oberfläche anzunehmen sey, weil sonst die Abplattung genau 1,25 der Schwungkraft betragen müfste, und von der andern Seite, dafs die Schwere nicht in einem einzelnen Puncte vereinigt seyn kann, weil sie sonst 0,5 ausmachen müfste[1]. Die Gröfse der Abplattung fällt zwischen diese beiden Werthe, und es läfst sich hieraus folgern, dafs die ursprünglich flüssige Erde aus Schichtungen von abnehmender Dichtigkeit vom Mittelpuncte an gerechnet bestehen kann. Zugleich beweiset die aus SABINE's Beobachtungen hervorgehende regelmäfsige Ungleichheit der Schwere auf der Erdoberfläche, dafs eine regelmäfsige Lagerung der Schichten von ungleicher Dichtigkeit beim flüssigen Zustande der Erde erfolgt sey, woraus dann wieder auf diesen ursprünglichen Zustand mit vielem Grunde geschlossen werden mufs. Eine gröfsere Dichtigkeit der inneren Erdschichten folgt übrigens schon aus dem Drucke, welchem dieselben unterliegen[2]. Schon CLAIRAUT suchte die Abplattung mit dem Gesetze der abnehmenden Dichtigkeit als Folge des Druckes in Uebereinstimmung zu bringen, ohne zu einem genügenden Resultate zu gelangen. LEGENDRE[3] und ihm folgend LA PLACE[4] nehmen an, wie gezeigt ist, dafs die Vermehrung des Druckes dem Quadrate der dadurch erzeugten Dichtigkeit proportional ist,

---

1 Vergl. die oberen Bestimmungen von NEWTON und HUYGENS.

2 Vergl. Dan. Bernouille Traité sur le Flux et Reflux de la Mer. ch. IV. §. 12.

3 Mém. de l'Acad. 1789. p. 372. La Place a. a. O.

4 Eine ältere gehaltvolle Abhandlung, wie die Gestalt der Erde durch die verschiedenen Mittel bestimmt werden kann, von de la Place findet man in Mém. de l'Ac. 1783. p. 133 ff.

welches Gesetz nsch dem letzteren mit der Gestalt der Erde und ihrer mittleren Dichtigkeit übereinstimmen soll[1]. Ivory nimmt diese Bedingung in seinen Calcül auf, und findet dann die Abplattung mit Sabine's Messungen übereinstimmend $=\frac{1}{289}$. Wird dann die mittlere Dichtigkeit der Erde $=5,48$ angenommen, so findet er die der äuſseren Rinde $=2,88$, welches ohngefähr die mittlere der Bestandtheile des Berges *Shehallien* ist. Aus den theoretischen Untersuchungen über die durch vermehrten Druck nach dem Mittelpuncte hin zunehmende Dichtigkeit folgt dann weiter, daſs die Vermehrung des Druckes, welche zur Hervorbringung einer gleichen Zunahme der Dichtigkeit erforderlich ist, stets wachsen müsse. Ivory findet dieses mit der Erfahrung nicht übereinstimmend, wonach bei geringen Pressungen die wachsenden Dichtigkeiten dem vermehrten Drucke direct proportional zu seyn pflegen; allein dieses gilt bloſs von flüssigen, nicht aber von festen Körpern, und ob es auch für flüssige ganz allgemein gelte, ist noch fraglich. Im Ganzen hält Ivory indeſs die Formeln, welche auf die Hypothesen einer den Quadraten des Abstandes von der Oberfläche an proportional wachsenden Dichtigkeit und des von La Place angenommenen Gesetzes des Druckes gegründet sind, nicht für zureichend, um damit die Ellipticität und die Dichtigkeit an der Oberfläche genau zu finden.

E. Gestalt der Erde nach astronomischen Bestimmungen, hauptsächlich den Mondsgleichungen.

Dieses rein astronomische Problem kann hier bloſs angedeutet, und das daraus erhaltene Resultat kurz angegeben werden. Wirkte die Anziehung des Mondes gegen die Erde als kugelförmig gedacht, so müſste sie gegen jeden einzelnen Punct derselben gleich seyn. Findet dagegen eine Verschiedenheit der Länge der Axe und des Durchmessers der Erde statt, so muſs auch die Anziehung des Mondes gegen die einzelnen Puncte derselben verschieden seyn, und hieraus ein Einfluſs auf die

1 Méc. cél. livr. XI, chap. 2. §. 6. Vergl. Th. Young in Connaiss. de Tems. 1822.

Nutation aus dem Stande des Mondes folgen. v. LINDENAU[1] findet hiernach aus 800 vollständigen Beobachtungen des Polarsternes die Abplattung $=\frac{1}{315,82}$, welches man bei der Schwierigkeit des ganzen Problemes als ein hinlänglich genähertes Resultat ansehen kann. Aber auch die Parallaxe des Mondes muſs nach seinem verschiedenen Stande Unterschiede zeigen, wenn die Erde nicht völlig kugelförmig ist, und hieraus müssen Ungleichheiten sowohl in seiner Länge als auch in seiner Breite hervorgehen. LA PLACE, welcher die Ursache dieser Ungleichheiten zuerst auffand[2], berechnete aus den genauen Beobachtungen von BÜRG die Gröſse der Abplattung $=\frac{1}{305,5}$ und $\frac{1}{304,6}$, welche genaue Uebereinstimmung bei der Feinheit der astronomischen Werkzeuge und Messungen allerdings groſses Zutrauen verdient[3]. Nach der letzten Revision der beiden Ungleichheiten in der Länge und Breite des Mondes, wobei viele Tausende von Beobachtungen von BÜRG, BOUVARD und BURCKHARDT benutzt sind, findet LA PLACE[4] die Abplattung der Erde $=\frac{1}{299,1}$ wodurch sich also auch dieser Werth dem durch SABINE gefundenen mehr nähert, aus den drei Mitteln der Messung aber, nämlich aus Pendelschwingungen, Gradmessungen und Mondsgleichungen ist sie nach ihm $=\frac{1}{306,7}$, wobei aus der geodätischen Operation in Frankreich für sich allein $\frac{1}{308,6}$ hervorgeht.

F. Schluſsbemerkungen.

Ueberblicken wir jetzt nochmals die sämmtlichen Resultate,

1 Astron. Jahrb. 1820. p. 212. LE GENDRE in Mém. de l'Acad. 1789. p. 424 fand aus astronomischen Messungen $\frac{1}{318}$.

2 Mém. de l'Ac. 1783. Vergl. LA LANDE ebend. 1785. LE GENDRE ebend. 1789. p. 424. LA PLACE Syst. du Monde II. 89.

3 LA PLACE Méc. Cél. T. III. p. 282. Vergl. BOHNENBERGER Astron. p. 590 u. a.

4 Méc. Cél. T. V. p. 13 und 43.

welche wir als Bestimmungen der Excentricität des Erdsphäroids auf den verschiedenen Wegen erhalten haben, so führt dieses zu folgenden Betrachtungen.

1. Die unter A aufgezählten und in Rechnung genommenen verschiedenen Breitengradmessungen haben von der Seite betrachtet, dafs sie allein oder in Verbindung mit der unter B angegebenen Längengradmessungen die absolute Gröfse der Erde geben, einen unersetzlichen Werth. In Beziehung auf die dadurch gefundene Abplattung deuten sie sämmtlich auf eine geringere, als welche die Pendelbeobachtungen geben. Man übersieht allerdings bald, dafs gar leicht Fehler dabei begangen seyn können, allein wenn auch die genauesten aus allen ausgesucht werden, und bei der höchst wahrscheinlichen Voraussetzung, dafs die Fehler eben so gut auf die eine als auf die andere Seite fallen, und sich sonach ausgleichen müssen, bleibt es doch auf allen Fall höchst merkwürdig, dafs die Abplattung nach ihnen ohne willkührliche Aenderungen nicht höher hinaufgebracht werden kann, als zu $\frac{1}{305}$. An sich ist die Differenz so bedeutend nicht, wenn angenommen wird, dafs die durch Pendellängen gefundene Abplattung die richtige sey, vielmehr liegt das Auffallende nur in dem Constanten des niedrigeren Werthes. Inzwischen läfst sich erwarten, dafs es hiermit eben so, als mit den Resultaten aus Pendelschwingungen gehen wird, welche denen aus Gradmessungen erhaltenen so lange gleich kamen, bis Sabine mit geeigneten Werkzeugen und der erforderlichen Genauigkeit einen sehr grofsen Bogen mafs. Hierzu berechtigt unter andern auch der Umstand, dafs der in Frankreich gemessene Bogen mit dem lappländischen verglichen die Abplattung genau so grofs giebt, als Sabine dieselbe aus den Pendellängen bestimmt hat. Dabei darf nicht übersehen werden, dafs die Resultate aus gemessenen Längengraden zwar keineswegs sehr zuverlässig sind, im Allgemeinen aber doch für die Richtigkeit der durch Sabine gefundenen Abplattung entscheiden. Es ist daher höchst wünschenswerth und in England auch schon in Vorschlag gebracht, dafs auf gleiche Weise nochmals zwei Breitengrade, einer unter dem Aequator und einer auf Spitzbergen so genau gemessen werden mögen, dafs entweder die jetzt noch bestehende Differenz ganz aufgehoben, oder fest begründet

werde, um dann erst der Ursache derselben ernstlich nachzuspüren.

2. Es ist um so wünschenswerther, daſs die jetzt bestehende Differenz der Resultate beseitigt werde, da sie früher nicht statt fand. La Place hat nämlich vor noch nicht langer Zeit gezeigt, daſs nach den neueren Revisionen die verschiedenen Messungen die Abplattung im Mittel sehr übereinstimmend $=\frac{1}{306,75}$ oder in runder Zahl $\frac{1}{306}$ geben, worin damals die geodätischen Messungen, Pendelbestimmungungen und Ungleichheiten der Mondsbewegungen übereinkamen [1]. Gegenwärtig ist indeſs der Standpunct der Sache ein anderer, und wir müssen vielmehr sagen, daſs $\frac{1}{306}$ und $\frac{1}{289}$ die beiden äuſsersten Grenzen sind, zwischen welche die Ellipticität fällt. Das Verhältniſs beider ist 15:16, welches allerdings noch groſs genug ist, wenn man die auſserordentlichen Bemühungen erwägt, welche auf dieses Problem verwandt sind. Werden aber auf der andern Seite die Schwierigkeiten gehörig gewürdigt, welche einer noch gröſseren Uebereinstimmung im Wege stehen, so sagt Ivory mit Recht, daſs auch die schon errungene Uebereinstimmung Bewunderung erregen muſs [2].

3. Bei verschiedenen Bezeichnungen und Messungen auf der Erdoberfläche kommt die Gröſse der Excentricität als wesentliches Element in Betrachtung, und es entsteht daher die Frage, welche von den beiden Bestimmungen oder ob das Mittel aus beiden hierbei gewählt werden soll. Obgleich hierüber keine Gewiſsheit gegeben werden kann, auch die geodätischen Messungen in Verbindung mit den astronomischen Bestimmungen keineswegs unwichtig sind, so fällt doch nach Wahrscheinlichkeitsgründen das Uebergewicht so sehr auf die durch Pendellängen erhaltene Bestimmung, daſs es vor der Hand und bis zur definitiven Entscheidung am rathsamsten ist, diese Gröſse als die muthmaſslich richtige allein beizubehalten.

---

1 G. LXIX. 344. Mém. de l'Ac. 1817. T. II. p. 137. 1818. T. III. p. 489.

2 Phil. Mag. LXVI. 323.

III. Dimensionen der Erde und ihrer Oberfläche.

Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so würde bloſs erforderlich seyn, den Halbmesser derselben auf irgend eine Weise zu finden, und vermittelst dessen ihren Inhalt, ihre Oberfläche und die Theile auf derselben zu bestimmen. Es ist indeſs im vorigen Abschnitte so gut als erwiesen, daſs die Erde die Gestalt eines regelmäſsigen elliptischen Sphäroids habe, welches durch Umdrehung um die kleine Axe der Ellipse entstanden ist, und diese Form muſs daher auch bei den Bestimmungen ihrer Dimensionen zum Grunde gelegt werden. Man darf sich also hierbei bloſs an die einfache Construction der Ellipse halten, wie sie oben im Abschnitte II. zur Bestimmung der Abplattung aus gemessenen Breitengraden mitgetheilt ist, um hieraus die in dem Folgenden zu suchenden Gröſsen zu entnehmen.

Man nimmt gewöhnlich an, der Durchmesser der Erde betrage 1719 und ihr Umfang 5400 geographische Meilen. Diese für die gewöhnlichen Berechnungen hinlänglich genäherten Gröſsen sind für schärfere nicht genau genug, und es ist daher erforderlich, von sichereren Bestimmungen auszugehen. Als solche können wir die gefundene Abplattung $= \frac{1}{289{,}1}$ ansehen. Diese Verhältniſszahl giebt uns aber keine der wirklichen Gröſsen auf unserer Erde, sondern hierzu bedürfen wir einer eigentlichen Messung. Indem aber oben gezeigt ist, daſs keine der dort berechneten Messungen mit dieser Abplattung völlig übereinstimmt, mithin auch nicht als absolut genau betrachtet werden kann, so fragt sich, welche derselben als der Wahrheit am nächsten kommend bei den Berechnungen zum Grunde gelegt werden kann. Unter allen gemessenen Graden geben der mittlere in Frankreich gemessene und der Lappländische eine der aus Pendelschwingungen bestimmten am nächsten kommende Abplattung, und weil unter diesen der Französische am zuversichtlichsten als richtig angenommen werden kann, so ist es am rathsamsten, diesen bei den Berechnungen zum Grunde zu legen. Aus der ganzen Messung in Frankreich folgt aber die Länge eines Grades unter 44° 51′ 2″,83 = 57006,14 Toisen, und es kann also von der Wahrheit nicht merklich abweichen, wenn die Länge des Grades unter 45° N. B = 57007 Toisen in runder Zahl

angenommen wird. Es ist aber oben (No. II.) nach den Eigenschaften der Ellipse gezeigt, daſs wenn p den halben Parameter der groſsen Axe, N die Normale an den Punct M des elliptischen Bogens, R den Krümmungshalbmesser für diesen Punct bezeichnet, Fig. 170.

$$R = \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.})^{\frac{3}{2}}}$$

sey. Es ist aber nach der Natur des Kreises der Halbmesser r für einen gegebenen Bogen G,

$$r = \frac{180}{\pi} G;$$

folglich ist, wenn a den halben Durchmesser, b die halbe Axe bezeichnet

$$p = \frac{b^2}{a} = \frac{180}{\pi} G (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.})^{\frac{3}{2}}$$

und also

$$a = \frac{180}{\pi} G. \frac{a^2}{b^2} (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.})^{\frac{3}{2}}$$

Um hieraus a zu finden, wird die im vorigen Abschnitte gewählte Bezeichnung beibehalten, wonach $\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$ ist.

Hiernach wird

$$1 - e^2 = \frac{b^2}{a^2} \text{ also } e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}.$$

Es ist aber $1 - \frac{b}{a} = \frac{1}{289,1}$

$$1 + \frac{b}{a} = 2 - \frac{1}{289,1} = \frac{577,2}{289,1}$$

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} = \frac{577,2}{83578,81}; \quad \frac{a^2}{b^2} = \frac{83578,81}{83001,61}$$

Hiernach ist

2. log. Sin. 45° = 9,6989700
log. e^2 = 0,8392301 — 3

log. = 0,5382001 — 3 giebt 0,003453028

$$\tfrac{1}{2}\log.(1-e^2\,\mathrm{Sin.}^2\,45^\circ)=0{,}9977465-1$$
$$\log.\frac{a^2}{b^2}=0{,}0030096$$
$$\log.57007=4{,}7559282$$
$$\log.180=2{,}2552725$$
$$\text{c. ar. } \log.\pi=9{,}5028500-10$$

$\log.a=6{,}5148068$ giebt 3271952 Toisen.

Wird mit diesem Halbmesser der Umfang des Aequators berechnet, und angenommen, daſs 15 geographische Meilen[1] auf einen Grad im Aequator gehen, so beträgt

Ein Grad im Aequator 57106,33 Toisen
Eine geographische Meile 3807,09 Toisen
oder 22842,54 Par. Fuſs
Der Durchmesser der Erde 1718,834 Meilen
Der Umfang der Erde 5400 Meilen

Es ist ferner die Länge eines elliptischen Bogens $=s$ vom Aequator bis zur Breite $=l$ genommen

$$s=a\pi\frac{1}{180}\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\frac{45}{2304}e^6-\ldots\right)$$
$$-a\left(\frac{3}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\frac{45}{2304}e^6-\ldots\right)\mathrm{Sin.}\,l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{3}{2}a\left(\frac{5}{16}e^4-\frac{5}{576}e^6-\frac{175}{36864}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^3\,l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{15}{8}a\left(\frac{7}{36}e^6-\frac{7}{2304}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^5\,l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{35}{16}a\left(\frac{9}{64}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^7\,l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\text{etc.}$$

Wird hierin $l=90^\circ$ genommen, also für einen ganzen Quadranten, so fallen alle Glieder auſser dem ersten weg, weil $\mathrm{Cos.}\,l=0$ ist. Man findet hiernach den Helbmesser eines Kreises, dessen Umfang dem elliptischen Meridiane gleich ist

$$R=a\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\ldots\right)$$

1 Die geographische Meile heiſst auch *deutsche* Meile, weil die Niederländischen oder Deutschen Schiffer sie zuerst bei der Verzeichnung der See- und Land-Charten gebrauchten. S. J. T. Mayer praktische Geometrie IV. 1.3.

Gewöhnlich findet man diesen, indem man $R = \frac{a+b}{2}$ nimmt, welches nur unbedeutend abweicht, auch kann man den Krümmungshalbmesser, welcher dem 45sten Grade der Breite zugehört, und aus der Formel $R = \frac{180}{\pi} G$ gefunden wird, wenn G die Länge eines Grades unter 45° B. bezeichnet, als den Halbmesser eines solchen Kreises nehmen, jedoch weicht dieser etwas mehr ab. Endlich ist der Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte mit einem elliptischen Sphäroide, dessen halber Durchmesser = a und halbe Axe = b ist; $r = a\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$, oder der Inhalt des letzteren ist $J = \frac{4}{3}\pi a^2 b$. Nach diesen Formeln sind die folgenden Werthe für das Ellipsoid der Erde bei einer Abplattung $= \frac{1}{289,1}$ berechnet [1].

Halber Durchmesser	3271952	Toisen.
Halbe Axe	3260634	—
Krümmungshalb. für 45°	3266260	—
$\frac{a+b}{2}$	3266293	—
Halbmesser eines Kreises, welcher mit dem Meridiane von gleicher Gröfse ist	3266295	—
Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte als das Ellipsoid	3268175	—
Länge eines Meridians	5390,668	Meilen
Länge eines Quadranten [2]	1347,667	—
Inhalt der Erde nahe genau	2650686000	Cub. M.

Die Oberfläche eines an den Polen zusammengedrückten Sphäroids ist mit Beibehaltung der angenommenen Bezeichnungen [3]

1 Vergl. Bohnenberger Astronomie S. 208. Dort wird jedoch die Abplattung $\frac{1}{305}$ zum Grunde gelegt, und daher sind die gefundenen Gröfsen verschieden.

2 Der zehnmillionste Theil hiervon beträgt 443,291 Par. Lin. Vergl. *Mafs*.

3 Klügel Math. Wörterbuch. IV. 393.

$$2\pi a^2\left(1+\frac{1-e^2}{2e}\ \text{log. nat.}\ \frac{1+e}{1-e}\right)$$

und durch Entwickelung in Reihen

$$4\pi a^2\left(1-\frac{1}{3}e^2-\frac{1}{15}e^4-\frac{1}{35}e^6-\frac{1}{63}e^8-\ldots\right)$$

Hiernach berechnet ist die Oberfläche der Erde = 9260500 Quad. Meilen. Die Oberfläche einer Kugel, deren Radius dem halben Durchmesser gleich wäre, würde 9281920 Quad. Meilen, und die einer Kugel vom Halbmesser der kleinen Axe 9217817 Quad. Meilen betragen.

Es ist ferner oben[1] gezeigt, dafs, wenn g einen Grad des Meridians unter dem Aequator bezeichnet, G dagegen einen Grad unter der Breite $=\psi$, so ist

$$g = G(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{und } G = \frac{g}{(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}}$$

Wird hiernach aus der Länge des Grades unter 45° N. B. = G die Länge eines Grades im Meridiane unter dem Aequator gesucht, so beträgt dieser 56712 Toisen. Nach diesem Werthe sind die unten folgenden Gröfsen der Grade von 5 zu 5 Graden berechnet. Es ist ferner bei einer Kugel vom Halbmesser = R der Radius r, womit die dem Aequator parallelen Kreise unter der Breite $=\psi$ beschrieben werden, $r = R.\ \text{Cos.}\,\psi$. Für ein elliptisches Sphäroid ist aber auf gleiche Weise dieser Radius $\varrho = N\ \text{Cos.}\ \psi$, wenn N die Normale auf die kleine Axe bezeichnet. Es verhalten sich aber, wie oben gezeigt ist, die Normalen, wie die Cubikwurzeln der Meridiangrade, also

$N : N' = \sqrt[3]{g} : \sqrt[3]{G}$ da sich die Meridiangrade wie die zugehörigen Krümmungshalbmesser verhalten. Unter dem Aequator aber

ist $N = a$ folglich ist $a : N = \sqrt[3]{g} : \sqrt[3]{G}$ folglich $N = a\sqrt[3]{\frac{G}{g}}$, und

da die Grade der mit dem Aequator parallelen Kreise sich verhalten wie die Halbmesser, so sind die Grade in den Parallelen auf der Kugel, wenn γ die Länge eines solchen Grades im

1 S. N. II. A. Formel 3 u. 4.

Aequator bezeichnet; $\gamma' = \gamma$ Cos. ψ; für das Ellipsoid aber ist

$$\gamma'' = \gamma' \sqrt[3]{\frac{G}{g}},$$ wonach die folgenden Werthe berechnet sind[1].

Breite	Grade im Meridian		Grade im Parallel	
	Toisen	Meilen	Toisen	Meilen
0	56711,96	14,896	57106,33	15,000
5	56716,44	14,897	56890,51	14,943
10	56729,70	14,901	56244,63	14,773
15	56751,34	14,907	55173,25	14,492
20	56780.75	14,914	53684,07	14,101
25	56817,07	14,924	51787,86	13,603
30	56859,15	14,935	49498,27	13,002
35	56905,80	14,947	46832,00	12,301
40	56955,57	14,960	43808,53	11,507
45	57007,00	14,974	40450,17	10,625
50	57058,46	14,987	36781,85	9,661
55	57108,46	15,000	32831,00	8,623
60	57155,41	15,013	28627,40	7,519
65	57197,94	15,024	24202,92	6,357
70	57234,70	15,034	19591,34	5,146
75	57264,54	15,041	14828,05	3,895
80	57286,54	15,047	9949,79	2,613
85	57300,04	15,051	4994,29	1,312
90	57304,51	15,052	0,00	0,000

Ausführlichere Tabellen dieser Art werden zum Verzeichnen der Landcharten berechnet. Die Differenz der Längen der Meridiangrade ist zwar zu unbedeutend, als dafs sie auf dem Papiere ausgedrückt werden könnte, die Längengrade aber, welche insbesondere bei grofsen Ländertheilen bedeutend verschieden sind, werden dann nach solchen Tabellen aufgetragen[2].

Es ist oben die Länge des Quadranten der Erde gefunden. Nimmt man hiervon den 324000sten Theil, oder den Bogen, welcher einer Secunde zugehört, so beträgt dieses 95,484 Par. F.; wird aber die Gröfse eines Grades unter dem 45sten Grade der Breite

1 Vergl. G. G. Schmidt Naturlehre II. S. 602. §. 303. Ausgabe 1813.

2 S. J. T. Mayer vollständige und gründliche Anweisung zur Verzeichnung der Land- See- und Himmelscharten und der Netze zu Coniglobien und Kugeln u. s. w. Der practischen Geometrie 4ter Th. Erlangen 1815. S. 125. Puissant Traité de Géodésie. Par. 1819. 2 Vol. 4. Die Tabellen am Ende des ersten Th.

zu 57007 Toisen bei dieser Bestimmung zum Grunde gelegt, so beträgt der Bogen für eine Secunde 95,012 Par. F. Man darf also im genäherten Werthe annehmen, daſs der Polarstern um 1″ im Bogen höher herauf kommt oder tiefer herabsinkt, wenn man sich 95 F. weiter nach Norden oder nach Süden bewegt, und allgemein wird sich im Mittel die Polhöhe oder die Breite für diese Entfernung im Meridiane um 1″ ändern. Für die ungleichen Gröſsen der Längengrade im Parallele läſst sich eine solche allgemeine Bestimmung nicht geben. Nehmen wir aber nach der oben gegebenen Bestimmung die Gröſse eines Grades im Parallel unter 50° der Breite = 36781,85 an, so kommen auf einen Bogen von 1″ nur 61,3 Par. F. und da 15 Sec. im Bogen auf 1 Sec. in Zeit gehen, so wird bei einer Entfernung von 920 Par. F. unter dieser Breite die Zeit um 1 Sec. differiren. Hieraus ergiebt sich, daſs in groſsen Städten an den äuſseren Enden in der Richtung von O. nach W. die Uhren genau genommen nicht bis auf Secunden übereingehen können, wenn man verlangt, daſs beide richtig gehen sollen, desgleichen muſs die Polhöhe in der Richtung von N. nach S. um mehrere Secunden verschieden seyn. Indem endlich der Winkel, welchen die Tangente an einem Kreise mit diesem Kreise macht, der Hälfte des Winkels am Mittelpuncte gleich ist, so muſs die Horizontalfläche bei der Erde, wenn sie als kugelförmig gedacht wird, für eine Entfernung von 95 F. um ½ Sec. herabsinken. Dieses kommt beim Nivelliren in Betrachtung, und überhaupt bei verschiedenen Messungen, weswegen man für diesen Zweck Tabellen verfertigt, welche nach diesem Maſse berechnet sind.

So wie bei der bedeutenden Abplattung der Erde die ganze Oberfläche derselben von derjenigen nicht unmerklich abweicht, welche einer Kugel vom mittleren Halbmesser zwischen dem halben Durchmesser und der halben Axe zugehört, so ist dieses auch bei den einzelnen Kugelzonen der Fall. Inzwischen kann man ohne bedeutenden Fehler annehmen, daſs die einzelnen Zonen den Sinussen der Breite, zwischen denen sie liegen, direct proportional sind, wie dieses bei einer Kugel der Fall seyn würde. Heiſst also die oben angegebene ganze Oberfläche des Ellipsoids S, so ist die um den Pol liegende, durch den Parallel unter der Breite ψ abgeschnittene Zone

$= \frac{1}{2} S (1 - \text{Sin.}\ \psi)$ und der Theil vom Aequator bis zur glei-

chen Breite $= \frac{1}{2}$ S. Sin. ψ. Diesemnach ist eine zwischen den Parallelen unter der Breite φ und ψ liegende Zone $= \frac{1}{2}$ S (Sin. φ — Sin. ψ). Hiernach findet man, die halbe Oberfläche wie oben angenommen,

die halbe äquatorische Zone = 1947293 Quad. M.
die gemäſsigte — — 2399907 — —
die kalte — — 384050 — —

Diese Gröſsen können aber wegen der bedeutenden Abplattung nicht genau seyn. Will man dagegen die Gröſse einer einzelnen Erdzone mit Rücksicht auf die elliptische Gestalt genau finden, so kann man sich der folgenden bequemen Formel bedienen[1]. Behält man die Bedeutungen von a und b bei, nennt $\frac{a-b}{a+b} = m$, und heiſst der Grad der Breite, bis an welchen die Zone gemessen werden soll, φ, die Kugelzone = Z, so ist:

$$Z = 2\pi a^2 \left(\frac{1-m}{1+m}\right) \left(\text{Sin.}\,\varphi - \frac{1}{3} m (2+m) \text{Sin.}\,3\varphi + \frac{1}{5} m^2 (3+2m) \text{Sin.}\,5\varphi - \frac{1}{7} m^3 (4+3m) \text{Sin.}\,7\varphi + \ldots\right)$$

Für die angenommene Abplattung ist

$$\frac{b}{a} = \frac{1-m}{1+m} = \frac{288{,}1}{289{,}1} \text{ und } m = \frac{1}{577{,}2}, \text{ wonach also}$$

$$\begin{aligned} Z = 2\pi a^2 (&0{,}996540982359 \text{ Sin. } \varphi \\ &- 0{,}001156001720 \text{ Sin. } 3\varphi \\ &+ 0{,}000001803018 \text{ Sin. } 5\varphi \\ &- 0{,}000000002911 \text{ Sin. } 7\varphi \\ &+ \text{etc.} \ldots) \end{aligned}$$

Wird hierin $\varphi = 90°$, so giebt die Formel die halbe Oberfläche. Diesemnach ist die ganze Oberfläche

$O = 4\pi a^2 (0{,}997698790008) = 9260500$ Quad. Meilen, wie oben.

---

1 S. Klügel math. Wörterbuch, fortgesetzt von Mollweide IV. 398. Die Formel ist daselbst ausführlich abgeleitet, und mit andern verglichen. Aehnliche Formeln und Berechnungen der Erde als Kugel und Sphäroid nach Hectaren findet man bei Puissant a. a. O. I. 330 ff.; Pasquich's Formel zur Berechnung der Erdzonen in Mon. Cor. I. 183. Vergl. IX. 301.

Nennt man aber die Coefficienten von Sin. φ; Sin. 3φ; u. s. w. = A; B; C; D; so ist

$$\log. A = 0{,}9984952 - 1$$
$$\log. B = 0{,}0629585 - 3$$
$$\log. C = 0{,}7783774 - 7$$
$$\log. D = 0{,}8619231 - 10$$

Sollte eine zwischen den Parallelen unter den Breiten φ und ψ liegende Zone gesucht werden, so würde Z' die bis zur Breite $= \psi$ reichende Zone vom Aequator an gerechnet, nach der nämlichen Formel gefunden werden, die zwischenliegende Zone aber dem Unterschiede beider gleich seyn. Man könnte daher jede für sich berechnen, und die eine von der andern abziehen, oder da Sin. ψ — Sin. $\varphi = 2$ Sin. $\frac{1}{2}(\psi - \varphi) \times$ Cos. $\frac{1}{2}(\psi + \varphi)$ ist, so darf man nur in die Formel setzen

statt Sin. φ; 2 Sin. $\frac{1}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{1}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 3φ; 2 Sin. $\frac{3}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{3}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 5φ; 2 Sin. $\frac{5}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{5}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 7φ; 2 Sin. $\frac{7}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{7}{2}(\psi + \varphi)$

Werden nach dieser Formel die oben angegebenen, durch die Wendekreise und die Polarkreise abgeschnittenen Zonen berechnet, und nimmt man die Schiefe der Ekliptik, wie gewöhnlich, in runder Zahl = 23,5 Grade an, so dafs die äquatorische Zone auf jeder Seite des Aequators bis 23° 30', die gemäfsigte bis 66° 30' die kalte von dort bis an den Pol reicht, so beträgt

die halbe äquatorische Zone	1839123 Quad. M.
— ganze — — —	3678246 — —
die gemäfs. — — —	2403988 — —
die kalte — — —	387139 — —

Die beiden gemäfsigten Zonen zusammen betragen also den gröfsten Theil der Erdoberfläche, und 355452 Quad. M. mehr als die heifse und die beiden kalten zusammengenommen[1]. Leicht kann hiernach der Inhalt eines Theiles einer Zone gefunden werden, welcher zwischen gegebenen Parallelen und Meridianen eingeschlossen ist, wenn man den Inhalt der ganzen Zone

1 Die Ausmessung einzelner Theile der Erdoberfläche mit Rücksicht auf ihre ellipsoidische Gestalt gehört zur höheren Geodäsie, und wird hier billig übergangen. M. s. aufser den angeführten Werken von Puissant u. Mayer nach Späth höhere Geodäsie. München 1816. 8. Th. I.

sucht, diesen mit der Zahl der Grade der einschliefsenden Parallele multiplicirt und durch 360 dividirt.

Die Lage der Oerter auf der Oberfläche der Erde wird durch den Meridian und den Parallel bestimmt, in welchen sie liegen. Jenes heifst die *Breite*, dieses die *Länge* derselben, wie oben schon angegeben ist. Man verfertigt hiernach Tabellen, welche die Länge und Breite der verschiedenen Oerter enthalten, wie solche von Vega[1], Bode[2], vom *Bureau des Longitudes*[3] u. a. zusammengestellt sind. Soll die Entfernung zweier Oerter von einander gefunden werden, so gehört die allgemeine Auflösung dieser Aufgabe, wenn man die elliptisch-sphäroidische Gestalt der Erde berücksichtigt, unter die schwierigeren geometrischen Probleme[4]. Betrachtet man dagegen die Erde als eine Kugel, welches für den gewöhnlichen Gebrauch hinreicht, so gehören hierunter folgende drei leicht zu lösende Aufgaben. 1. Wenn beide Oerter unter dem nämlichen Meridiane liegen, so giebt die Differenz ihrer Polhöhen in Graden, jeden im Mittel zu 15 geographischen Meilen gerechnet, oder die Länge der Grade nach der oben mitgetheilten Tabelle genommen, und jene Differenz mit diesem Factor multiplicirt, die Entfernung bis auf den aus der Interpolation der oben gegebenen Gröfsen entstehenden Fehler genau. 2. Liegen beide Oerter unter dem nämlichen Parallele, so giebt jene Tabelle gleichfalls das Mittel, ihre Entfernung zu berechnen. 3. Liegen dagegen beide unter verschiedenen Breiten und Längen, so kann die Entfernung durch die gesuchte Hypotenuse eines sphärischen Dreiecks bestimmt

---

1 Anhang zu seinen logarithmisch-trigonometrischen Tafeln Th. II.

2 Anleitung zur allgemeinen Kenntnifs der Erdkugel. 2te Aufl. Berl. 1803. S. 261.

3 In der Connaissance des Tems. Viele einzelne zerstreute Angaben finden sich in v. Zach's monatlicher Correspondenz u. s. w., und in der Correspondance astronomique, in Bode's astronomischem Jahrbuche, Schumacher's astronomischen Nachrichten; vorzüglich reichhaltig ist v. Krusenstern Beiträge zur Hydrographie der gröfseren Ozeane u. s. w. Leipz. 1819. 4. Eine genaue tabellarische Zusammenstellung dieser geographischen Bestimmungen wäre zwar schwierig, aber sehr wünschenswerth.

4 Die Linie heifst die *geodätische Linie*. Formeln zur Berechnung derselben findet man bei Puissant a. a. O. II. 237 ff. bei Littrow. Theoretische u. praktische Astronomie. Wien, 1821. II. Th. S. I. 278. Vergl. *Geodäsie*.

werden. Sind demnach die Breiten derselben φ und ψ, ist der Unterschied der Längen $= \lambda$, heiſst ferner $90° - \varphi = \alpha$; $90° - \psi = \beta$; der Bogen des gröſsten Kreises, welcher ihre Entfernung miſst d, so ist im sphärischen Dreieck

$$\text{Cos. d} = \text{Cos. } \alpha. \text{ Cos. } \beta + \text{Sin. } \alpha. \text{ Sin. } \beta. \text{ Cos. } \lambda.$$

Werden die hierdurch gefundenen Grade von Cos. d durch Multiplication mit 15 in Meilen verwandelt, so findet man hierdurch die Entfernung im genäherten Werthe.

IV. Dichtigkeit der Erde.

Theoretische Untersuchungen über die Dichtigkeit der Erde kamen hauptsächlich in Betrachtung bei der Bestimmung ihrer Gestalt nach den mechanischen Gesetzen des Gleichgewichts eines um seine Axe rotirenden Sphäroids mit Rücksicht auf die Abnahme der Schwere von den Polen nach dem Aequator hin, und diese sind daher oben (II. D.) beiläufig erwähnt. Sie können auf keine Weise zur Auffindung der absoluten Dichtigkeit der Erde führen, sondern beziehen sich bloſs auf das Verhältniſs der oberen Erdschichten zu den mittleren und unteren. Inzwischen folgt aus ihnen vermittelst sinnreicher Combinationen, daſs die Erde nicht *gleichförmig* dicht seyn kann, weil sonst die Abplattung $\frac{1}{230}$ betragen müſste, wie aus Newton's oben erwähnter Demonstration hervorgeht. Eben dieses folgt aus den gemessenen Pendellängen unter verschiedenen Breiten. Bei einer gleichförmigen Dichtigkeit der Erde müſste sich nämlich der halbe Durchmesser derselben zur halben Axe verhalten wie die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator, und da sich die letzteren wie die Längen des einfachen Secundenpendels verhalten, so müſste die Abplattung nach den neuesten Messungen $\frac{1}{192,7}$ betragen[1], was weder mit geodätischen Messungen noch mit astronomischen Beobachtungen verträglich ist. Man begreift aher leicht, daſs bei einer gröſseren Dichtigkeit des Erdsphäroids um sein Centrum und dadurch entstehender stärkerer Anziehung die Zunahme der Schwere nach dem Pole hin gröſser seyn muſs, als der vorhandenen Abplattung proportional ist, weil die unter dem Aequator hinzukommende

1 S. oben II. C.

Masse von der stärkeren Anziehung im Mittelpuncte weniger afficirt wird. Wäre dagegen die ganze Anziehungskraft der Erde in ihrem Mittelpuncte vereinigt, so müfste nach HUYGENS die Schwungkraft auf die im halben Halbmesser derselben liegenden Theile gleichmäfsig wirken, und daher eine der Hälfte dieser Schwungkraft proportionale Abplattung des Sphäroids erzeugen, so dafs diese also $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{289,1} = \frac{1}{578}$ betragen würde[1]. Nach den neuesten Pendelversuchen beträgt die Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole $\frac{1}{192,7}$, welches mit dem Verhältnisse der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator verglichen, letztere $= k = \frac{1}{289,1}$ gesetzt, genau $\frac{3}{2}$ k beträgt. Indem aber die Verminderung der Schwere unter dem Aequator eine Folge der Schwungkraft ist, diese aber $= k$ genommen werden mufs, so bleibt als Wirkung der Abplattung $\frac{1}{2}$ k übrig. Hieraus folgt unmittelbar, dafs weder die gesammten Schichten des Erdsphäroids gleichmäfsig dicht seyn können, noch auch dafs die Schwere im Mittelpuncte desselben allein vereinigt anzunehmen sey. Vielmehr mufs das Mittel von diesen beiden Voraussetzungen als richtig angenommen werden, d. h. die einzelnen Schichtungen des elliptischen Erdsphäroids haben eine den Wirkungen der Schwungkraft proportionale Abplattung erhalten, ihre mittlere Dichtigkeit ist aber das Mittel zwischen der gröfsten im Centro und der geringsten an der Oberfläche, oder aber sie nehmen gleichmäfsig von oben nach dem Mittelpuncte hin an Dichtigkeit zu[2].

Eine Zunahme der Dichtigkeit der einzelnen Schichtungen des Erdsphäroids liegt schon als Folge des stärkeren Druckes der gesammten Theile in der Natur der Sache, und ist deswegen bisher von den Physikern allgemein angenommen. Verschiedene grofse Geometer haben es daher auch versucht, die sphäroidische Gestalt der Erde als Folge ihrer Rotation um die kleine Axe und ihre mittlere Dichtigkeit als Folge des Druckes, welchen die einzelnen Schichtungen auf einander ausüben, wech-

1 Vergl. BOHNENBERGER *Astronomie.* S. 651.
2 Vergl. oben II. D.

selseitig aus einander abzuleiten. Vorzüglich geschah dieses durch LEGENDRE[1], am ausführlichsten durch LA PLACE[2], welcher hierbei theils das Gesetz der Zusammendrückung des Wassers nach CANTON zum Grunde legt[3], theils eine Anwendung desselben auf die Gröfse der Zusammendrückung fester Körper durch eine gegebene Last macht[4]. Dieses führte ihn aber auf die Folgerung, dafs bei einer mittleren Dichtigkeit der äufsern Erdrinde = 2,5 und unter der Veraussetzung, dafs eine dieser ähnlichen Substanz durch eine aus gleicher Masse bestehende Säule von einem Milllionttheile der halben Axe an Länge um 5,5345 Milliontheile ihres Volumens zusammengedrückt werden würde, den Resultaten der Messungen Genüge geschehen könne. Wenn man dagegen annähme, dafs sie aus Substanzen bestände, deren Dichtigkeit bei 10° C. durch den Druck einer Wassersäule von 10 Atmosphären Gewicht um 44 Milliontheile vermehrt würde, wie CANTON beim Wasser gefunden hat, so würde die Abplattung $= \frac{1}{360}$, die Zunahme der Pendellänge = 0,0000059 Sin.^{2} lat. und die mittlere Dichtigkeit des ganzen Sphäroids = 9 seyn, was gegen die Erfahrung streitet, und er gelangt daher zu der Ueberzeugung, dafs auf diesem Wege kein sicheres Resultat zu erlangen sey. Auch THOMAS YOUNG[5] hat sich auf diesem schwierigen Felde der analytischen Forschungen versucht, ohne eine vollständige Lösung des dunkeln Problems zu erhalten. Am tiefsten ist LA PLACE[6] und nach dessen Vorgange IVORY[7] in diese Untersuchungen eingegangen. Ersterer legt eine Abplattung $= \frac{1}{306,7}$ zum Grunde, setzt die Dichtigkeit der oberen Erdrinde = 3, welches ohngefähr das spec. Gew. des Granites ist, und findet dann die mittlere Dichtigkeit der Erde = 4,761 mit den Versuchen sehr nahe übereinstimmend. Das spec. Gew. der oberen Erdrinde = 3 könnte man

1 Mém. de l'Ac. 1789. p. 372.
2 Méc. Cél. T. II. L. III. chap. 3.
3 Méc. Cél. T. V. L. XI. ch. II. p. 22.
4 Ann. Chim. Ph. XI. 84.
5 Phil. Tr. 1819. p. 87.
6 Méc. Cél. T. V. p. 46.
7 Phil. Mag. LXVI. 321.

zu grofs finden, wenn man den bedeutenden Wassergehalt der Erde besonders hervorheben wollte. Allein La Place hat anderweitig gezeigt, dafs das Meer nicht sehr tief, im Mittel schwerlich über eine halbe Meile ist, und wollte man dessen Tiefe auch zu einer ganzen Meile setzen, so betrüge dieses erst den 860sten Theil des Halbmessers. Nimmt man die schwereren basaltischen und vulcanischen Massen hinzu, so wird jene Angabe nicht zu grofs erscheinen, und beide Werthe kommen demnach der Wahrheit näher, als sich bei so verwickelten Untersuchungen erwarten liefs. Ivory dagegen legt die neuerdings durch Sabine gefundene Abplattung zum Grunde, nimmt die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,48 an, und findet dann die der Oberfläche = 2,88, also nahe genau wie die des Berges Shehallien. Allein jene erste Gröfse ist sicher zu grofs, indem die mittlere Dichtigkeit der Erde nicht füglich gröfser als höchstens = 5 angenommen werden kann, und die letztere ist wahrscheinlich zu klein. Inzwischen gesteht Ivory selbst zu, dafs vollkommene Gewifsheit auf diesem Wege nicht zu erlangen sey, und auch La Place berücksichtigt insbesondere unsere Unbekanntschaft mit der Temperatur, welche dem Innern der Erde zugehört. Wenn man dieses letztere Argument gehörig würdigt, nämlich dafs die Temperatur des Erdkernes schwerlich jemals ausgemittelt werden wird[1], und berücksichtigt, dafs es noch sehr problematisch ist, ob das Gesetz der Verminderung des Volumens fester Körper durch einen Druck von so ungeheurer Gröfse, als die oberen Lagen des Erdballs auf die unteren muthmafslich ausüben, sich durch Versuche bestimmen lasse[2], so erkennt man in diesen beiden Ungewifsheiten ganz unüberwindliche Hindernisse einer vollständigen Lösung des schwierigen Problems auf dem angegebenen Wege. So viel folgert inzwischen La Place mit Recht als sicheres Resultat der vielen scharfsinnigen Untersuchungen, dafs in Gemäfsheit

1 Vergl. den folgenden Abschnitt.

2 Ein Ungenannter in London macht verschiedene Einwendungen gegen die Voraussetzungen La Place's über den Grad der Zusammendrückung, welchen die festen Theile im Innern der Erde erleiden, und die daraus folgende wahrscheinliche Dichtigkeit. S. Bibl. univ. XV. 3. Allein diese treffen die Sache nicht, da jener grofse Geometer seine, übrigens immer sehr wahrscheinlichen Annahmen allezeit blofs als Hypothesen betrachtet hat.

der den Quadraten der Sinusse der Breiten proportionalen Zunahme der Schwere *eine regelmäſsige Lagerung der einzelnen elliptisch-sphäroidischen Schichtungen der Erde um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct nicht bezweifelt werden kann*[1]. Es schlieſst sich dann an diese so eben erörterte Aufgabe eine andere an, welche zwar gleichfalls nichts weniger als leicht, aber doch durch den Fleiſs und Scharfsinn der Forscher ziemlich genügend beantwortet ist, nämlich über die mittlere Dichtigkeit der Erde im Allgemeinen.

Bei der Beantwortung dieser Frage ist man von dem einfachen Grundsatze ausgegangen, daſs sich bei der bekannten Gröſse der Erde ihre mittlere Dichtigkeit aus der bekannten Dichtigkeit anderer Körper finden lasse, wenn man diejenigen Anziehungen vergleiche, welche beide gegen einen dritten Körper ausüben. Es ist schon oben gezeigt[2], daſs Newton das nach ihm benannte Gesetz der allgemeinen Anziehung aufstellte, und zugleich sind die Versuche erwähnt, welche man zur Bestätigung desselben anstellte. Das dabei zum Grunde liegende allgemeine Gesetz ist, daſs die Anziehungen zweier Körper sich zu einander direct wie ihre Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Heiſsen daher die Massen m und m′, die Abstände r und r′, die Anziehungen g und g′ (wovon die erstere bei der Erde durch den Fallraum gegeben ist, welchen ein Körper im leeren Raume in einer Secunde zurücklegt), so ist

$$g : g' = \frac{m}{r^2} : \frac{m'}{r'^2}.$$

Hinsichtlich auf die Dichtigkeiten d und d′ aber verhalten sich diese

$$d : d' = \frac{m}{r^3} : \frac{m'}{r'^3}.$$

A. Dichtigkeit der Erde nach der Anziehung groſser Gebirgsmassen.

Unter den Versuchen, welche die Einwirkung groſser Gebirgsmassen auf ein in ihrer Nähe herabhängendes Loth ausüben, hat man vorzugsweise nur diejenigen zur Bestimmung der mitt-

---

1 Méc. Cél. T. V. p. 12.

2 S. Th. I. S. 328.

leren Dichtigkeit der Erde benutzt, welche durch MASKELYNE und HUTTON an der Grenze von Schottland angestellt wurden[1]. Der erstere brachte dieselben in Vorschlag, und wählte dazu die Bergkette *Shehallien* (gälisch *Thichallin*) in *Pertshire*, welche sich von W. nach O. erstreckt, und daher auf ein an ihrer Südseite und Nordseite herabhängendes Bleiloth in entgegengesetzter Richtung wirken muſs. Denkt man sich zur Versinnlichung den Berg M, die Lothe a a′ und b b′ durch seine Anziehung in die Richtungen a α und b β gezogen, so ist die Differenz des Bogens $\alpha\beta$ und a b, welche beide aus astronomischen und geodätischen Messungen gefunden werden, die doppelte Wirkung der Anziehung, welche $\frac{1}{2}$ mal genommen die Anziehung des Berges giebt. Die genannten mühsamen Messungen und die erforderlichen gleichfalls sehr weitläuftigen Rechnungen wurden durch MASKELYNE und HUTTON in den Jahren 1774, 75 und 76 beendigt[2], und die Art des dabei befolgten Verfahrens nebst den erhaltenen Resultaten sind auch später von HUTTON ausführlich beschrieben[3]. Die Messungen selbst hier mitzutheilen würde überflüssig seyn, und es wird daher genügen bloſs die Art anzugeben, wie aus den erhaltenen Gröſsen die Dichtigkeit der Erde gefunden ist. Nach HUTTON war die Summe der Anziehungen (der anziehenden Masse) zwischen der Fig. 172.

nördlichen und südlichen Station des Berges = 8811 . Um

diese mit der durch die ganze Erde bewirkten zu vergleichen, sieht er die letztere als eine Kugel an, und setzt die Anziehung einer solchen gegen einen Körper auf ihrer Oberfläche $= \frac{2}{3} D\pi$ oder $= \frac{2}{3} P$, wenn D den Durchmesser, P den

1 Die Versuche der französischen Akademiker über die Anziehung der Gebirgsmassen unter dem Aequator sind hierzu unbrauchbar, weil die dortigen Berge ausgebrannte Vulcane sind, deren Dichtigkeit daher unbestimmbar ist. Auſserdem hatten jene Gelehrte mit unüberwindlichen Schwierigkeiten der Localität zu kämpfen, und begnügten sich daher, die damals noch streitige Frage über diese Art der Anziehung überhaupt auſser Zweifel zu setzen. Das Resultat eines neueren Versuches von Carlini s. unten.

2 Phil. Trans. 1775 und 1778.

3 Tracts on mathematical and philosophical subjects. Lond. 1812. III vol. 8. II. 1 ff.

Umfang bezeichnet. Die Länge eines Grades unter 45° der Breite, oder eines mittleren Grades der Erde bestimmt er nach älteren Messungen[1] zu 57030 Toisen oder 342180 Par. Fuſs, welche nach dem angenommenen Verhältnisse des Londoner Fuſses zum Pariser = 72 : 76,734 für den ganzen Umfang 131284080 Lond. F. und mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt 87522720 als Maſs der Anziehung geben. Das Verhältniſs der Anziehungen der Erde und des Berges ist also 87522720 : 8811 $\frac{2}{3}$ d. i. nahe genau 9938 : 1 unter der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Dichtigkeit. Maskelyne hatte aber die Summe der Abweichungen des Lothes, oder den Unterschied der beiden Bogen $\alpha\beta$ und a'b = 11",6 gefunden, wonach also die Anziehung der Erde zu der des Berges nahe genau = 1 : tang. 11",6 = 1 : 0,00005623 oder = 17781 : 1 und mit Rücksicht auf den Einfluſs der Schwungkraft = 17804 : 1 ist. Die beiderseitigen Dichtigkeiten müssen sich daher verhalten wie 17804 : 9938, oder nahe wie 9 : 5.

Fig. 172.

Hutton hat später seine Bestimmung der Dichtigkeit der Erde mehrmals revidirt, allein die bisher angegebenen Gröſsen stets unverändert beibehalten. Es ist aber oben nachgewiesen, daſs der mittlere Grad des Erdsphäroids nicht 57030, sondern nur 57007 Toisen beträgt. Wird überhaupt aus dem Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte, als das elliptische Sphäroid der Erde, der Werth von $\frac{2}{3}$ P gesucht, so ist dieser in englischen Fuſsen = 87536260. Das Verhältniſs dieser Zahl zu 8811 $\frac{2}{3}$ ist dann = 9934,1 und da die Zahl 17804 unverändert bleibt, so ist das Verhältniſs der Zahlen 17804 : 9934,1 = 2,2562 : 1 oder = 9 : 5,0217, welches von jenem oberen nicht merklich abweicht, jedoch ist jenes nicht, wie Hutton meint, bis auf 0,02 oder noch weniger bis auf 0,01 genau. Ich werde diese neuere Bestimmung auch in der Folge benutzen.

Um hieraus die Dichtigkeit der Erde zu finden, ist dann ferner erforderlich, die Dichtigkeit der verglichenen Masse genau zu kennen. Nach den früheren Bestimmungen nahm Hut-

1 Die Gröſse ist entnommen aus Phil. Trans. 1768. p. 327.

TON[1] sie $= 2,5$ an, die des Wassers $= 1$ gesetzt, und dann ist $\frac{17804}{9933} \times 2,5 = 4,481$. Späterhin[2] folgte er mehr der Angabe des mit jenen Gegenden sehr vertrauten MACARA von FORTINGAL, welcher das spec. Gew. der schwarzen, Syenit-artigen, Masse des Berges $= 3,0$ setzte, so dafs die Dichtigkeit der Erde hiernach $= 5,377 \ldots$ wurde, eine Bestimmung, welche sicher zu grofs ist. Indefs war HUTTON geneigt, aus beiden Werthen das arithmetische Mittel zu nehmen, welches allerdings mit den später durch PLAYFAIR erhaltenen Resultaten genauer übereinstimmt. Wie HUTTON nämlich die Untersuchungen des letzteren benutzt, besteht der Berg aus körnigem Quarz, Glimmerschiefer und Kalk, welche als mittleres spec. Gew. 2,75 haben, so dafs also das spec. Gew. der Erde $\frac{9}{5} \times 2,75 = 4,95$ oder nahe $= 5$ ist, wie schon NEWTON vermuthete[3]. Er schliefst hieraus dann ferner, dafs mehr als zwei Dritttheile der Erde aus Metall, und vermuthlich aus Eisen bestehen müssen.

HUTTON bemerkt nicht mit Unrecht, dafs diese Versuche die ersten sind, welche von dieser Art angestellt wurden, dafs daher bei einer ganz neuen Operation leicht Fehler begangen seyn könnten, weswegen zu wünschen wäre, dafs sie an andern Orten wiederholt werden möchten. Indefs ergaben spätere Prüfungen[4], dafs die Messungen an sich nichts zu wünschen übrig lassen, und dafs sie daher allerdings zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde sehr geeignet sind, sobald es nur möglich ist, die mittlere Dichtigkeit des Berges mit völliger Genauigkeit zu finden. PLAYFAIR[5] suchte daher diesen Theil der Aufgabe so vollständig, wie möglich zu lösen. In Verbindung mit Lord WEBB SEYMOUR untersuchte er genau die geognostische Beschaffenheit des Berges, das spec. Gew. der einzelnen Lagerungen und ihre Masse, desgleichen das Verhältnifs ihrer Lage zu den Beobachtungsorten. Sie fanden im Allgemeinen den Berg aus dreierlei Felsarten bestehend, nämlich aus körni-

1 Phil. Trans. LXVIII. 781.

2 Tracts. II. 1.

3 Vergl. HUTTON in Phil. Trans. 1821. p. 276.

4 Vergl. *Anziehung*. Th. I. S. 329.

5 Phil. Trans. 1811. p. 347. im Auszuge bei G. XLIII. 62.

gem Quarz vom mittleren spec. Gew. = 2,6398, aus Glimmer- und Hornblendeschiefer vom mittleren spec. Gewichte = 2,83255 und aus Kalkstein vom mittlerem spec. Gew. = 2,76607. Das Mittel aus den letzteren beiden Felsarten betrug 2,81039. Nach der Art, wie HUTTON den Berg aus einzelnen Säulen bestehend annahm, und deren Anziehung gegen das Loth berechnete, verfährt auch PLAYFAIR, und indem er die das Loth ablenkende Gesammtkraft für die Masse des körnigen Quarzes = Q und für die Masse des übrigen Gesteines = M setzt, von der Summe des anziehend wirkenden die des entgegen wirkenden abzieht, so findet er mit Beibehaltung der übrigen durch HUTTON angenommenen Gröfsen für die Wirkung des Berges und der Erde folgende Proportion,

$$17804 : 1 = 87522720\, D : 13843{,}126\, Q - 5030{,}214\, M$$

woraus die Dichtigkeit der Erde

$$D = 2{,}816\, Q - 1{,}023\, M$$

gefunden wird. Hierin die oben gefundenen Werthe für Q = 2,639876 und für M = 2,81039 substituirt folgt die Dichtigkeit der Erde

$$1. \quad D = 4{,}55886.$$

Weil man indefs nicht wissen kann, wie tief der körnige Quarz die Masse des Berges bildet, so hat PLAYFAIR den Werth von D auch für den Fall berechnet, dafs der Kern des Berges aus Glimmerschiefer bestände, nach welcher Hypothese

$$D = 1{,}0053\, Q - 0{,}78743\, M$$

und mit Beibehaltung der Bestimmungen von Q und M,

$$2. \quad D = 4{,}866997$$

seyn würde. Der letztere Werth ist sehr nahe der mittlere zwischen der früheren Angabe HUTTON's = 4,481 und der durch CAVENDISH[1] vermittelst der Drehwaage gefundenen Gröfse = 5,48. Indefs hält PLAYFAIR wohl nicht mit Unrecht die Versuche am Shehallien für so genau, dafs er geneigt ist, das Mittel aus den beiden gefundenen Werthen von D, nämlich dem Minimum = 4,55886 und dem Maximum = 4,867 zu nehmen, wonach also

$$D = 4{,}713$$

als die genaueste Bestimmung für die Dichtigkeit der Erde zu betrachten wäre. Wird in diesen Formeln die oben gefundene

1 S. unten B.

genauere Gröſse für die Dimension der Erde gesetzt, so erhält man mit Beibehaltung der übrigen Werthe nach der ersten Berechnung

$$D = 2{,}8155\ Q - 1{,}0231\ M$$

wonach also

$$1.\quad D = 4{,}55741$$

ist. Nach der zweiten Formel berechnet wird

$$D = 1{,}005\ Q - 0{,}78718\ M$$

woraus durch gleiche Substitution

$$2.\quad D = 4{,}865448$$

wird. Das arithmetische Mittel beider Werthe gäbe dann

$$D = 4{,}71143$$

von der durch Playfair gefundenen Gröſse nur unbedeutend verschieden. Hutton meinte indeſs bei einer späteren Revision seiner eigenen Versuche, und einer Vergleichung derselben mit denen, welche Cavendish zu gleichem Zwecke mit der *Drehwaage* anstellte, daſs man 5 als die mittlere Dichtigkeit der Erde ansehen könne. Zugleich war er für diese Methode, welche ihm so viele Zeit und Mühe gekostet hatte, so eingenommen, daſs er noch in seinem hohen Alter von 84 Jahren den Vorschlag that, ähnliche Messungen bei einer ägyptischen Pyramide vorzunehmen[1].

Auſser dieser Messung haben wir kürzlich noch eine ähnliche, minder schwierige und weitläuftige, aber dennoch wegen der angewandten feineren Methode gleich schätzbare und als Controle der beiden bisher bekannten in ihrem Resultate höchst wichtige erhalten. F. Carlini[2] hat nämlich die Länge des einfachen Secundenpendels auf dem Mont-Cenis gemessen, und mit der durch Biot zu Bourdeaux gefundenen verglichen. Letzterer fand die corrigirte Länge des Decimalsecundenpendels unter 44° 50′ 25″ = 741,$^{\text{mill.}}$6151, welches auf 45° 14′ 10″ corrigirt 741,$^{\text{mil.}}$6421 beträgt, und hiernach ist das Sexagesimalsecundenpendel am letzteren Orte = 993,$^{\text{mil.}}$498. Statt dessen fand Carlini dasselbe = 993,$^{\text{mil.}}$708. Die Differenz von 0,210 ist als Folge der Anziehung des Berges anzusehen. Letzterer be-

1 Phil. Trans. 1821. p. 282 u. 291. Journ. de Phys. XC. 307.

2 Effemeride di Milano. 1824. Append. p. 28.

steht aus Schiefer, Marmor und Gyps, deren spec. Gew. = 2,81; 2,86 und 2,32 im Mittel 2,66 für die Dichtigkeit des Berges im genäherten Werthe geben. Wird dann der Berg als ein sphärisches Segment betrachtet, dessen Höhe = 1 und der Durchmesser der Basis (von Susa nach Lanslebourg) = 11 ist, so ergiebt die Rechnung die Dichtigkeit der Erde = 4,39.

B. Dichtigkeit der Erde nach Versuchen mit der Drehwaage.

Wir haben nur eine Reihe solcher Versuche, welche unter die feinsten und schwierigsten im gesammten Gebiete der Naturlehre gehören. Die Idee hierzu hatte zuerst Michell[1], dessen Apparat an Hyde Wollaston kam, und von diesem an Cavendish, welcher ihn verbesserte und die bekannten Versuche damit anstellte. Diese hier vollständig zusammt der Methode der Berechnung mitzutheilen, würde zu viel Raum erfordern, und es möge daher nur so viel darüber gesagt werden, als hinreicht, um die Sache im Allgemeinen beurtheilen zu können, und die Erfordernisse zu würdigen, welche bei einer Wiederholung derselben zu berücksichtigen sind[2].

Michell's Apparat bestand ursprünglich aus einem möglichst dünnen hölzernen Stabe mit zwei Bleikugeln an seinen Enden, und im Schwerpuncte an einem feinen Metalldrahte aufgehangen. Durch die Elasticität dieses Drahtes muſs der Waagebalken an irgend einer Stelle frei schwebend zur Ruhe kommen, durch die Einwirkung einer höchst geringen Kraft auf die Kugeln am Ende desselben aber aus dieser Lage gezogen werden. Letzteres muſs namentlich geschehen durch einen anziehend auf dieselben wirkenden Körper, und wenn daher die Masse, Entfernung auf Dichtigkeit eines solchen gegebenen bekannt ist, so läſst sich aus der Stärke der Anziehung desselben, verglichen mit der auf die Kugeln gleichfalls wirkenden Schwere die Dichtigkeit der Erde als das die Anziehung durch die Schwere bewirkenden Körpers finden. Weil aber die geringste Kraft, nach Cavendish selbst 0,00000002 der Schwere, schon Schwingun-

1 Vergl. *Drehwaage* Th. II. S. 591.

2 Man findet sie vollständig in Phil. Trans. LXXXVIII. p. 469 und daraus mit schätzbaren Anmerkungen von Gilbert in dessen Ann. d. Ph. II. 1 ff.

gen der Drehwaage verursachen kann, so müssen alle störende Einflüsse möglichst vermieden werden, insbesondere ungleiche Temperatur, weil die hierdurch namentlich schon durch die Annäherung des Beobachters, entstehende Luftströmung in dem umschliessenden Kasten eine Bewegung hervorbringt. Aus dieser Ursache schloss Cavendish seinen verbesserten Apparat in ein eigenes Zimmer ein, und beobachtete die Schwingungen durch angebrachte Fernröhre.

Die Waage selbst befand sich in einem Gehäuse von Mahagoniholz F E A B C D...., welches durch vier Schrauben an hölzernen Pfeilern befestigt war, und sich horizontal stellen liess. An den Drähten h x hingen zwei Bleikugeln von 2 Zoll Durchmesser vor den Armen des Waagebalkens herab, welcher aus einem dünnen hölzernen Stabe h m h bestand, dessen Beugung bei grosser Feinheit durch den feinen Silberdraht h g h vermieden wurde. Ein feiner übersilberter Kupferdraht l g m trug diesen Waagebalken, und war selbst in den kleinen Klöbchen l und g festgeklemmt. Der obere Träger dieses Drahtes konnte von Aussen durch den Draht K F vermittelst einer Schraube ohne Ende gedreht werden. Von einem Balken des Zimmers, H H hingen an einem Stifte p die kupfernen Stangen P r R herab, welche durch die Strebe r r auseinander gehalten wurden. An diesen waren unten die schweren Bleikugeln W, W befestigt, welche durch Umdrehen des Apparates um den Stift p vermittelst einer über die Scheibe M M und die Rolle m gehenden Schnur den kleineren Kugeln von beiden entgegengesetzten Seiten genähert werden konnten, wobei sie jedoch durch ein, zur Vermeidung jeder Erschütterung des Apparates eingemauertes Stück Holz gehindert wurden, näher als 0,2 Z. zu kommen. Die Lage des Armes wurde durch Verniere an seinen Enden angezeigt, welche dicht über einer elfenbeinenen Scale hinliefen, und da letztere in 20stel eines Zolles getheilt war, jener aber den fünften Theil hiervon angab, so konnte die Bewegung bis auf 0,01 Z. gemessen werden. Hierzu dienten die Einschnitte A, A im Gehäuse, beleuchtet durch die mit einer convexen Linse versehenen Leuchter L, L und beobachtet durch die Fernröhre T, T. Die eine Seite der Theilung nach ihrem Anfange hin nannte Cavendish die *negative*, die entgegengesetzte die *positive*, indem der Waagebalken auf dem ohngefähr in der Mitte liegenden 20sten Theilstriche in Ruhe stand.

Fig. 178.

Bei den Beobachtungen wurden die Bleimassen W, W den kleinen Kugeln x, x genähert, zogen diese letzteren an, und versetzten sie in Schwingungen. Um die Gröſse der Elongationen zu erhalten, beobachtete CAVENDISH die Grenze der ersten und dritten Schwingung an der einen Seite, und nahm das Mittel aus beiden als den Grenzpunct nach dieser Seite, welches mit dem Grenzpuncte der zweiten Schwingung verbunden den Punct der Ruhe gab, um hierdurch die allmälige Verzögerung der Oscillationen zu compensiren. Die Zeit der Schwingungen erhält man bei so langsamen Oscillationen leicht, wenn man das Zeitinterval zwischen zwei weit von einander liegenden Coincidenzen der Theilstriche ohngefähr in der Mitte der Schwingungen miſst, und dieses durch die Zahl der Schwingungen zwischen beiden Beobachtungen dividirt.

Der versilberte Kupferdraht, an welchem der Waagebalken hing, war 39,25 Z. lang, wog 2,4 Grains, und war so wenig steif, daſs die Kugeln beim Oscilliren der Waage an die Seiten des Gehäuses anschlugen. CAVENDISH stellte daher nur einige Versuche hiermit an, wobei er die kugelförmigen Bleimassen W, W während der Schwingungen aus der positiven in die negative Lage brachte, obgleich dieses die Beobachtungen erschwerte. Auſserdem bemerkte er einen Einfluſs der Temperatur dieser Kugeln, welchen er durch einige Versuche genauer prüfte, deren Erörterung nicht hierher gehört. Im Ganzen stellte CAVENDISH vom 5ten Aug. 1797 bis 23sten Mai 1798 siebenzehn Versuche an, aus denen er die Dichtigkeit der Erde berechnete. Hierbei wird vorausgesetzt, daſs, wenn die Kraft, welche den Arm des Waagebalkens seitwärts zieht, sich zum Gewichte der Bleikugeln verhält, wie der Bogen A, um welchen dieser Arm vermöge der Elasticität des Drahtes zur Seite gezogen wird, zum Radius, dieser Arm mit einem eben so langen Pendel gleichzeitig schwingen muſs. Die Länge dieses Hebelarmes vom Mittelpuncte der Drehung an gerechnet, betrug 36,65 Z. und die Länge des Secundenpendels 39,14 Z.[1], folglich müſste sich bei einer der angegebenen Bedingung entsprechenden Anziehung die Schwingungszeit wie $\sqrt{36,65} : \sqrt{39,14}$ verhalten. Dauert die Vibration also N Secunden, so verhält sich die Kraft, welche erfordert wird, den Arm um einen Bogen

1 Nach den neuesten Versuchen 39,13926 Z. S. oben II. C.

A seitwärts zu ziehen, zum Gewichte der daran hängenden Kugel, wie der Bogen A. $\frac{1}{N^2} \cdot \frac{36,65}{39,14}$ zum Radius. Die elfenbeinene Scale war 38,3 Z. vom Mittelpuncte der Drehung entfernt, und der Zoll in 20 Theile getheilt, und sonach betrug ein Theil des Bogens $\frac{1}{766}$ des Radius, und es verhielt sich daher die Kraft, welche den Arm um einen Theil seitwärts zog, zum Gewichte der Kugel wie $\frac{1}{766 N^2} \times \frac{36,65}{39,14} : 1$ oder wie $\frac{1}{818 N^2} : 1$. Die Mittelpuncte der 8 Z. im Durchmesser haltenden genäherten Bleikugeln und der 2 Z. haltenden am Waagebalken waren 8,85 Z. von einander entfernt, wenn die ersteren dem Gehäuse genähert wurden, letztere sich in der Mitte desselben befanden. Durch eine fehlerhafte Einrichtung des Apparats war aber nicht dafür gesorgt, dafs der Perpendikel aus dem Mittelpuncte der grofsen Kugeln auf den Waagebalken in das Centrum der kleinen Kugeln fiel, weil die Kupferstangen nur 36,65 Z. von einander abstanden, und eine die Mittelpuncte der gröfseren Kugeln verbindende Linie mit der Axe des Waagebalkens einen Winkel bildete, dessen Sinus 8,85 Z. betrug, weswegen die Anziehung derselben im Verhältnifs von Cos. $^3\frac{1}{2}$ ang. Sin. $\frac{8,85}{36,65} : 1$ d. i. von $0,9779 : 1$ verringert werden mufste.

Das Gewicht jeder Bleimasse betrug 2439000 Grains, und gleicht somit dem Gewichte von 10,64 sphärischen Cubikfufs[1] Wasser. Wenn dann die Kraft der Anziehung dieser Bleimassen auf die Bleikugeln am Ende des Waagebalkens in die Mitte der ersteren gesetzt, dabei das Newtonsche Gesetz der Anziehung angenommen wird, ferner die Anziehung der Bleimasse

1 Der bei den Engländern gebräuchliche Ausdruck sphärischer Cub. F. od. Z. bezeichnet eine Kugel von 1 F. od. 1 Z. Durchmesser, also $\frac{\pi}{6}$ Cub. F. Wasser. Gilbert a. a. O. zeigt, dafs das Gewicht eines Cubikzolles Wasser $=$ 253,35 Grains nach Kirwan gerechnet ist. Der Radius einer solchen, hier angenommenen Wasserkugel beträgt also die in der Berechnung vorkommenden 6 Z.

in der Entfernung von 8,85 Z. auf die Bleikugeln $= A$; die Anziehung einer Wasserkugel von 1 F. Durchmesser auf sie, wenn sie sich auf ihrer Oberfläche befänden $= B$; die Anziehung der Erde auf sie unter gleicher Bedingung $= C$ heifst, so verhält sich mit Rücksicht auf den schiefen Zug

$$A : B = 10{,}64 \times 0{,}9779 \left(\frac{6}{8{,}85}\right)^2 : 1.$$

Der mittlere Durchmesser der Erde wird $= 41800000$ F. angenommen[1] und wenn ihre Dichtigkeit gegen die des Wassers $= D : 1$ heifst, so verhalten sich die Anziehungen der Bleimasse zu der der Erde

$$A : C = 10{,}64 \times 0{,}9779 \left(\frac{6}{8{,}85}\right)^2 : 41800000\,D$$
$$= 1 : 8739000\,D.$$

Es ist aber oben dargethan, dafs eine auf die Bleikugeln wirkende Kraft, welche den Hebelarm um einen Theilstrich der Scale aus seiner natürlichen Lage zu ziehen vermag, $\frac{1}{818 N^2}$ vom Gewichte der Kugeln betragen mufs, und da die Anziehung der Bleimasse auf die Kugel $\frac{1}{8739000\,D}$ vom Gewichte der letzteren beträgt, so wird diese Anziehung den Waagebalken um $\frac{818 N^2}{8739000\,D}$ oder $\frac{N^2}{10683\,D}$ Theilungen aus dem Stande seiner Ruhe ziehen. Werden also die Bleigewichte aus einer auf die Mitte des Waagebalkens lothrechten Richtung den Enden desselben bis zum genannten Abstande genähert, und es findet sich, dafs hierdurch dieses Ende um B Theilungen, oder wenn man die Massen abwechselnd an die positive und negative Seite rückt, dafs es um 2 B Theilungen abweicht, so mufs $B = \frac{N^2}{10683\,D}$ also $D = \frac{N^2}{10683\,B}$ seyn, woraus also D oder die Dichtigkeit der Erde gefunden wird.

---

1 Aus einer Revision dieser Gröfse nach den neuesten Messungen kann keine merkliche Aenderung der erhaltenen Resultate hervorgehen, wie schon aus der oben unter A geschehenen Substitution folgt.

Diese Formel bedarf indeſs noch einiger Correctionen[1]. Diese sind:

1. Wegen des Widerstandes, welchen der Waagebalken vermöge seiner Masse der Bewegung entgegensetzt, indem ein Theil der Kraft der Bleimassen auf die Erzeugung der letzteren verwandt wird. Jeder Arm des Waagebalkens bildete eine abgekürzte Pyramide, indem nach der Darstellung seines Querschnittes die Höhe seiner Theile AB und DE überall gleich war, die Breite Bb aber von der Mitte nach den Enden hin abnahm, so daſs der Querschnitt dort 0,33, hier 0,146 Quadratzoll betrug. Die Länge desselben von D bis d war 73,3 Z. und wog bei dem meistens herrschenden feuchten Wetter 2400 Gran. Man darf ihn hiernach als ein Prisma ansehen, dessen Grundfläche das arithmetische Mittel der gröſsten und kleinsten Durchschnittsfläche, also $\frac{0,33+0,146}{2}=0,238$ ist. Diesemnach wog ein Zoll desselben in der Mitte $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,33}{0,238}$, an den Enden $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,146}{0,238}$ Grains. Nimmt man ferner irgend einen Punct X an, setzt $\frac{cX}{cd}=x$ und berücksichtigt, daſs von c bis d der Querschnitt um 0,33—0,146 also um 0,184 Quadratzoll, folglich bei X um $\frac{cX}{cd}\times 0,184=0,184x$ abnimmt, so ist das Gewicht bei X hiernach $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,33-0,184x}{0,238}=\frac{3320-1848x}{73,3}$ Grains. Der Silberdraht DCd wog 170 Grains, folglich 1 Z. $\frac{170}{73,3}$ und der Waagebalken mit diesem zusammen im Puncte X, $\frac{3490-1848x}{73,3}$, also eine Länge von dx Zollen $\frac{3490-1848x}{73,3}dx$ Grains. Die Kräfte, welche erforderlich sind, um gleiche Massen in X und in d gleich stark in beschleunigte Bewegung zu setzen verhalten, sich wie $(cX)^2:(cd)^2$ d. i. wie $x^2:1$, mithin

Fig. 174. Fig. 175.

---

1 Wegen der Wichtigkeit dieser und ähnlicher, künftig vielleicht noch anzustellender Versuche übergehe ich diese nicht, benutze vielmehr der Deutlichkeit wegen noch einige Erläuterungen von Gilbert a. a. O.

ist die zur Bewegung des Elementes dx erforderliche Kraft $= x^2 dx \left(\frac{3490 - 1848x}{73,3}\right)$ welches $x = 1$ gesetzt, oder für den ganzen Arm $\left(\frac{3490}{3} - \frac{1848}{4}\right) : 73,3$ also 350 Grains beträgt. Wird dann das Messingstück bei C als unbedeutend vernachlässigt, das Gewicht des elfenbeinenen Vernier's mit seinem Stabe de, welches 47 grains wiegt, 38 Z. vom Mittelpuncte der Drehung absteht, und also im Puncte d einem Gewichte von 48 Grains gleichkommt, hinzugenommen, so ist das Gewicht der ganzen zu bewegenden Masse $11262 + 350 + 48 = 11660$ Grains. Bei einer gegebenen Schwingungszeit mufs also die bewegende Kraft im Verhältnisse von $11660 : 11262 = 1,0353 : 1$ gröſser werden, als sie für einen Arm ohne Gewicht seyn würde.

2. Die Bleimassen ziehen nicht bloſs die Bleikugeln, sondern auch den Arm des Waagebalkens an. Um die hierfür erforderliche Correction zu finden denke man sich durch den Mittelpunct der Kugel b eine verticale Ebene dbw gelegt, welche
Fig. 175. senkrecht auf den Arm Dd steht, und in welcher sich in w die eine der Bleimassen befindet. (Die kleine Abweichung des Apparates von dieser Voraussetzung kann unbedenklich vernachlässigt werden). Es war aber die horizontale Linie dw $= 8,85$ Z. die verticale $db = 5,5$ Z. Heiſst dann $wd = a$; $wb = b$ $cd = l$ und wird x wie oben genommen, so ist $1 - x = \frac{dx}{dc} = z$, folglich $dx = lz$. Es verhalten sich aber die Anziehungen, welche die Bleimasse auf gleiche Massen in x und in b ausübt, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen b und wx bei senkrechtem Zuge, und, da die Richtung in einem Winkel, dessen Sinus $= \frac{b}{wX}$ ist, statt findet, wie $b^2 . \frac{b}{wX} : (wX)^2$, also wie $b^3 : (wX)^3$ d. i. wie $b^3 : (a^2 + z^2 l^2)^{\frac{3}{2}}$ Die Kraft also, womit der Arm vermöge dieser Anziehungen gedrehet wird, verhält sich wie $b^3 (1 - z) : (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}$ und diese drehenden Kräfte sind gleich, wenn die Masse in b derjenige Theil der Masse in X ist, welchen der Bruch $\frac{b^3 (1 - z)}{(a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}}$ angiebt.

Es wog aber, wie oben gezeigt ist, ein Element des Armes im Puncte X der Berechnung nach $\frac{3490 - 1848\,x}{73{,}3}\,dx$ $= \frac{1642 + 1848\,z}{73{,}3}.\,dz$ Grains. Folglich ist die Kraft, womit jede Hälfte des Armes durch die Anziehung der Bleimasse bewegt wird, gleich der, womit eine mathematische Linie gedrehet wird, an deren Ende in b sich eine Masse befindet $= \int \frac{b^3 (1 - z)}{(a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1642 + 1848 z}{73{,}3}.\ l.\,dz$. Es ist aber die halbe Länge des Hebelarmes $l = \frac{73{,}3}{2}$, wonach der zweite Factor des Integrals $=(821 + 924.z).\,dz$ wird. Hiernach ist das ganze Integral $= b^3 \int \frac{821.\,dz + 103\,z.\,dz - 924\,z^2.\,dz}{(a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}}$

Wird hierin statt des letzten Theiles des Zählers gesetzt $+ 924 \frac{a^2}{l^2}.\,dz - 924\left(\frac{a^2}{l^2} + z^2\right).\,dz$ und für $\frac{a^2}{l^2} = 0{,}08$ substituirt, so ist das Integral

$$b^3 \int \left(\frac{895.\,dz + 103 z.\,dz}{(a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{924.\,dz}{l^2 (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} \right),$$

welches integrirt giebt:

$$\frac{895.\,b^3.\,z}{a^2 (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{103\,b^3}{l^2 (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{103\,b^3}{l^2\,a}$$
$$- \frac{924\,b^3}{l^3} \log. \frac{l z + (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{1}{2}}}{a}.$$

Wird hierin $z = 1$ angenommen, so erhält man die in b gezogene Masse = 128 Grains. Nimmt man hiezu das Endstück de mit dem Vernier, dessen Gewicht 47 Grains, und in b also $= \frac{b^3}{a^3} \times 47 = 29$ Grains beträgt, so ist die ganze Kraft, womit jede der Bleimassen den ihr nächsten Arm der Waage zu bewegen strebt, gleich einer auf b wirkenden von 157 Grains, folglich nur $\frac{157}{11260} = 0{,}0139$ derjenigen, womit sie die Bleikugel zur Seite zieht. Ihre Anziehung auf die andere Hälfte des Waagebalkens ist dieser entgegengesetzt, aber so unbedentend, daſs sie füglich vernachlässigt werden kann.

3. Jede Bleimasse wirkt zugleich auch auf die Bleikugel am entfernteren Arme. Diese Anziehung verhält sich zu der auf die nächste Kugel wie $(wd)^3 : (wD)^3$ welches $= 0{,}0017 : 1$ ist. Daher ist das Verhältniſs der Anziehung der Bleimasse auf beide Kugeln zu der auf die nächste $= 0{,}9983 : 1$.

Fig. 176. 4. Auch die Kupferstangen wirken anziehend auf die Bleikugeln. Um diese Anziehung zu berechnen, sey w der Mittelpunct der Bleimasse, b der Mittelpunkt der Kugel am Arme, e a das senkrechte Stück der Kupferstange, welches aus zwei Theilen a d und d e besteht. Hiervon hat a d eine Länge von 16 Z., ist in w ohngefähr in zwei gleiche Theile getheilt, und wiegt 22000 Grains; der Theil d e dagegen ist 46 Z. lang und wiegt 41000 Grains; endlich ist $wb = 8{,}85$ Z. und auf e w senkrecht. Nach dem Gesetze der Anziehung, welche den Massen directe und der Quadraten der Entfernungen umgekehrt Fig. 177. proportional ist, wirkt ein Element des Körpers e w, dessen Masse $= dx$ ist, auf den Punct b mit einer Kraft, welche $= \frac{dx}{(bx)^2}$ ist. Von dieser wirkt nach der mit w b parallelen Richtung x f der Theil $\frac{wb}{bx}$, weswegen die Anziehung des Elementes dx nach der Richtung $wb = \frac{dx}{(bx)^2} \times \frac{wb}{bx}$ ist, und diejenige, welche das ganze Stück wx nach der Richtung wb auf den Punct b ausübt,

$$= \int \frac{wb.\,dx}{(bx)^3} = \int \frac{wb.\,dx}{\left((wb)^2 + x^2\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{x}{wb\,(wb^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$= \frac{x}{wb.\,bx}$. Wäre die ganze Masse des Stückes x im Puncte w vereinigt, so wäre dessen Anziehung auf den Punct b der Gröſse $\frac{x}{(bw)^2}$ proportional, folglich verhält sich die erstere Anziehung zur letzteren wie $\frac{1}{bx} : \frac{1}{wb}$. Auf gleiche Weise verhält sich die Anziehung, welche eine überall gleich dicke Fig. 176. Stange e w auf einen Punct b in der Richtung b w ausübt, zu der einer gleichen Masse in w, wie $\frac{1}{eb} : \frac{1}{wb} = \frac{wb}{eb}$. Hiernach ist, wenn die Wirkung beider Theile der Stange in w vereinigt ge-

dacht wird, die Anziehung des Theiles da gleich der Anziehung einer Masse von $\frac{22000 \,.\, wb}{db} = 16300$ Grains, und die des Theiles ed gleich der Anziehung einer Masse von

$41000 \frac{ew}{ed} \cdot \frac{bw}{be} - 41000 \frac{dw}{ed} \cdot \frac{bw}{bd} = 2500$ Grains, mithin verhält sich die Anziehung der Kupferstange zu der des daran hängenden Bleigewichtes wie 18800 : 2439000 oder wie 0,00771 : 1. Auch hierbei ist die Anziehung der schiefliegenden Kupferstange und des hölzernen Querbalkens zu unbedeutend, als daſs sie dürfte berücksichtigt werden, noch weniger aber ist dieses rücksichtlich der lothrechten Kupferstange auf die Kugel am andern Arme des Waagebalkens erforderlich.

5. Auch das Mahagoni-Gehäuse übt eine Anziehung auf die Bleikugeln aus, welche sich gegenseitig aufhebt, wenn dieselben in der Mitte zwischen seinen Wänden sind, und ihr Maximum erreicht, wenn sie am stärksten zur Seite gezogen werden. Aber auch in diesem Falle ist sie so unbedeutend, daſs sie nach einer ausführlichen Berechnung von Cavendish nicht mehr als $\frac{1}{1170}$ der Bleimassen beträgt, und daher füglich vernachlässigt werden kann.

Es folgt aus den unter No. 2, 3 und 4 erhaltenen Werthen, daſs die Kraft der Anziehung, welche die Bleimassen auf die Kugeln ausüben, nach den Verhältnissen von 0,9983 + 0,0139 + 0,0077 : 1 also von 1,0199 : 1 vermehrt werden müsse, um sie genau zu erhalten, wonach also die oben angegebene Gröſse $\frac{1}{8739000 \,.\, D}$ in $\frac{1,0199}{8739000 \,.\, D}$ verwandelt werden muſs. Aus No. 1. aber folgt, daſs die auf den Hebelarm wirkende Kraft wegen der zu bewegenden Masse desselben im Verhältnisse von 1,035 : 1 gröſser seyn muſs, als wenn er eine mathematische Linie wäre, wonach also $\frac{B}{818 \,.\, N^2}$ in $\frac{1,035\, B}{818 \,.\, N^2}$ zu verwandeln ist, wonach denn endlich

$$\frac{1,0199}{8739000 \,.\, D} = \frac{1,035 \,.\, B}{818 \,.\, N^2}$$

$$\text{und } D = \frac{N^2}{10844 \,.\, B}$$

die zum Auffinden der Dichtigkeit der Erde geeignete Formel ist [1].

6. Es ist indeſs endlich noch diejenige Correction zu untersuchen, welche aus der veränderlichen Lage der Bleikugeln gegen die Bleimassen entsteht. Die Entfernung beider beträgt nämlich nur dann 8,85 Z., wenn die Axe des Waagebalkens auf dem 20sten Theilstriche steht, wird aber kleiner oder gröſser, wenn die Bleikugeln sich den Bleimassen nähern oder beim Oscilliren des Waagebalkens sich weiter entfernen. Auſserdem befinden sich die Bleimassen nicht allezeit in der nämlichen Lage gegen die Bleikugeln, sondern nähern und entfernen sich abwechselnd beim Drehen der kupfernen Stangen. Es sey demnach W der Mittelpunct einer der Bleimassen in ihrer Lage zu-
Fig. 178. nächst am Gehäuse, M das Centrum der nächsten Bleikugel, wenn der Zeiger auf dem 20sten Theilstriche steht; B der Punct der Ruhe des Armes, wenn die Bleimasse auf die Kugel anziehend wirkt, und A dieser Punct, wenn die Bleimasse durch Drehung des Apparates entfernt ist, mithin AB der Bogen, um welchen der Arm durch die Anziehung der Bleimasse seitwärts gedrehet wird. Endlich sey Z der Bogen, um welchen der Arm seitwärts gezogen würde, wenn auf ihn die Anziehung in B gerade so stark wirkte, als in M. Sie wirkt aber in B stärker als in M, und zwar im Verhältnisse von $(WM)^2 : (WB)^2$, und so muſs also auch $AB = Z . \frac{(WM)^2}{(WB)^2}$ seyn, oder da $WB^2 = (WM - MB)^2$ ist, in eine Reihe entwickelt und mit Weglassung der höheren Potenzen ist $AB = Z . \left(1 + \frac{2MB}{MW}\right)$. Wird die Bleimasse an die entgegengesetzte Seite gedrehet, so daſs w und b eine ähnliche Bezeichnung geben, so ist $Ab = Z . \left(1 + \frac{2Mb}{Mw}\right)$. Also ist

$$Bb = Z . \left(2 + \frac{2Mb}{Mw} + \frac{2MB}{MW}\right) = 2Z . \left(1 + \frac{Bb}{MW}\right),$$

so daſs die ganze Bewegung des Armes, nämlich Bb, nach dem

1 Daſs hierin, wie oben, N die Zahl der Secunden einer Vibration, B aber die Zahl der Theilstriche bezeichnet, um welche der Waagebalken sogleich durch die Anziehung der Bleimassen vom Ruhepuncte abseitwärts gezogen wurde, versteht sich von selbst.

Verhältnisse von $1 + \frac{Bb}{MW} : 1$ gröſser ist, als wenn die Anziehung überall der in M gleich wäre. Die Lage des Armes hat daher auf die Correction in der Bewegung des Ruhepunctes wegen der Veränderlichkeit der Anziehung keinen merklichen Einfluſs, sondern allein der Bogen Bb, um welchen der Arm sich drehet, wenn man die Gewichte aus einer Stelle zunächst am Gehäuse in die entgegengesetzte bringt.

Diese Veränderlichkeit der Anziehung durch die Bleimassen hat auf die *Schwingungszeit* Einfluſs. Es sey daher das Centrum der einen dieser Bleimassen in W, das Centrum der Bleikugel in irgend einem Puncte des Schwingungsbogens in x, und A nebst B mögen die obere Bedeutung beibehalten, ferner stelle AB die Kraft vor, womit der Arm, wenn er in B ist, durch die Elasticität des Drahtes nach A zurückgetrieben wird (folglich auch die Anziehung der Bleimassen, welche im Puncte der Ruhe B der Drehkraft des Drahtes genau gleich ist) und Ax die Kraft, womit der Arm im Puncte x vom Drahte nach A zurückgebracht wird, so ist die Anziehung, welche die Bleimassen auf die Bleikugeln im Puncte x ausüben $= AB \frac{WB^2}{Wx^2}$, folglich die Kraft, womit der Arm im Puncte x nach A getrieben wird $= Ax - \frac{AB \cdot WB^2}{Wx^2}$. Wird hierin $\frac{WB^2}{Wx^2} = \left(1 + \frac{Bx}{Wx}\right)^2$ gesetzt, für dieses aber durch eine Entwickelung in eine Reihe mit Weglassung der höheren Potenzen $1 + \frac{2Bx}{Wx}$ gesetzt, und für Wx bei unmerklichem Unterschiede WB genommen, so erhält man sehr nahe

$AB + Bx - AB\left(1 + \frac{2Bx}{WB}\right)$ welches gleich ist

$Bx - \frac{2Bx. AB}{WB}$. Wäre die Anziehung der Bleimassen für jede Lage des Armes so groſs als im Puncte der Ruhe B, so würde die Kraft, womit der Arm aus dem Puncte x nach dem Puncte B strebt, dem Bogen Bx proportional seyn[1]. Weil

Fig. 178.

1 Vergl. *Elasticität* oben S. 195.

aber die Anziehung bei abnehmender Entfernung zunimmt, so ist diese Kraft kleiner, und nur dem Bogen $Bx - \frac{2Bx.AB}{WB}$ proportional. Die beschleunigenden Kräfte also, welche den Arm bei veränderlicher und unveränderlicher Anziehung durch die Bleimassen treiben, verhalten sich daher zu einander, wie $Bx - \frac{2Bx.AB}{WB} : Bx$ oder wie $1 - \frac{2AB}{WB} : 1$. Da sich aber die Schwingungszeiten gleich langer Pendel verkehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, so müssen die Schwingungszeiten bei veränderlicher und unveränderlicher Anziehung durch die Bleimassen sich verhalten wie $1 : \left(1 - \frac{2AB}{WB}\right)^{\frac{1}{2}}$, oder aber das Quadrat der Schwingungszeiten ist in jenem Falle gröſser als in diesem im Verhältniſs von $1 : 1 - \frac{2AB}{WB}$, welches Verhältniſs nur wenig von $1 + \frac{Bb}{MW} : 1$ verschieden ist, in welchem die Bewegung des Armes vergröſsert wird, wenn man die Bleimassen von der einen Seite des Gehäuses an die entgegengesetzte drehet. Wenn aber der Arm sich um eine Einheit der Skalentheilung drehet, so bewegt sich der Mittelpunct der Kugel um $\frac{36{,}65}{20 \times 38{,}3}$ Z. seitwärts, folglich wenn der Arm um einen Bogen $= AB = \frac{1}{2} Bb$ zur Seite gezogen wird, welcher d Theile begreift, wonach also $\frac{\frac{1}{2}Bb}{MW} = \frac{36{,}65 . d}{20 \times 38{,}3 \times 8{,}85} = \frac{d}{185}$ Zolle beträgt[1], so muſs die Schwingungszeit und die Bewegung des Armes auf folgende Weise verbessert werden.

a. Ist die *Schwingungszeit* durch einen Versuch bestimmt worden, in welchem die Gewichte an der einen oder andern Seite des Gehäuses sich befanden, und hat sich der Arm um d Eintheilungen der Scale bewegt, indem man die Bleimassen

---

1 Der Abstand des Centrums der Bleikugeln vom Drehungspuncte des Waagebalkens beträgt 36,65 Z., der Abstand der Scale von eben diesem Puncte 38,3 Z., ein Zoll derselben ist in 20 Theile getheilt, und der Abstand der Mittelpuncte der Bleimassen und Bleikugeln im Zustande der Ruhe beträgt 8,85 Z. Dieses sind die in der Formel enthaltenen Gröſsen.

aus dieser Lage in die auf die Mitte des Waagebalkens lothrechte brachte, so muſs die beobachtete Schwingungszeit *vermindert* werden, und zwar im Verhältnisse von $\left(1-\frac{2d}{185}\right)^2 : 1$, welches nahe gleich ist $1-\frac{d}{185} : 1$. Ist dagegen die Schwingungszeit bestimmt worden, als die Bleimassen auf die Mitte des Waagebalkens lothrecht gerichtet waren, so ist gar keine Verbesserung nöthig.

b. Um für die *Bewegung* des Armes die erforderliche Verbesserung zu finden, wenn die Bleimassen aus der dem Gehäuse genäherten Lage in die mittlere gedrehet werden, oder umgekehrt, so beobachte man in der positiven oder negativen Lage der Bleigewichte den Abstand des Armes vom 20sten Theilstriche. Er betrage n Theile. Es ist aber (oben unter 6 i. A.) gezeigt, daſs für die aus der veränderlichen Nähe der Bleigewichte erforderliche Correction der Bogen

$AB = Z\left(1+\frac{2MB}{MW}\right) = Z\left(1+\frac{2n}{185}\right)$, also

$AB : Z = 1+\frac{2n}{185} : 1$ oder nahe $= 1 : 1-\frac{2n}{185}$ ist. Man findet daher aus dem beobachteten Bogen AB bei veränderlicher Anziehung den Bogen Z bei unveränderlicher Anziehung, indem man, wenn B näher als M nach der Bleimasse hinliegt, von AB den $\frac{2n}{185}$sten Theil abzieht; wenn aber B weiter als M von der Bleimasse entfernt liegt, so ist BM, d. i. n negativ, und es muſs daher der $\frac{2n}{185}$ste Theil zugesetzt werden. Dieses giebt also die allgemeine Regel. *Man beobachte in der positiven oder negativen Lage der Bleigewichte*[1] *den Abstand des Armes vom 20sten Theilstriche, nenne, von hier an gerechnet, die Menge der Theilstriche* n, *und vermehre die beobachtete Bewegung um* $\frac{2n}{185}$*stel des Ganzen, wenn der Abstand nach der Seite der Bleimassen hinliegt, vermindere sie dagegen um*

1 Es ist oben bei der Beschreibung des Apparates angegeben, daſs Cavendish diejenige Seite die *negative* nannte, welche nach dem Anfange der Theilstriche hinliegt.

den $\frac{2n}{185}$ sten *Theil, wenn derselbe nach der entgegengesetzten hinliegt.*

c. Werden endlich die Bleimassen aus der positiven Lage der gröſsten Nähe in die negative gedrehet oder umgekehrt, und der Arm bewegt sich dabei um 2 d Theile seitwärts, so ist dann nach der oben gegebenen Demonstration

$$Bb = 2Z. \left(1 + \frac{Bb}{MW}\right) = 2Z\left(1 + \frac{2d}{185}\right), \text{ mithin}$$

$$Bb : 2Z = 1 + \frac{2d}{185} : 1 \text{ oder nahe} = 1 : 1 - \frac{2d}{185}.$$

In diesem Falle ist also die beobachtete Bewegung um den $\frac{2d}{185}$ sten *Theil zu vermindern.*

Es möge nur der Deutlichkeit wegen hinzugesetzt werden, daſs von den angegebenen Correctionen die unter a zu der Gröſse N in der Formel, die unter b und c aber zu der Gröſse B ebendaselbst gehören. Werden endlich die Bleimassen aus einer Lage des Genähertseyns in die entgegengesetzte gedrehet, und bestimmt man die Schwingungszeit während sie sich in einer derselben befinden, so ist keine Verbesserung weder der Schwingungszeit noch der Bewegung nöthig, weil sich dann die Correctionen aufheben.

Die mit dem beschriebenen Apparate angestellten und nach den angegebenen Formeln berechneten 17 Versuche stellt Cavendish in einer tabellarischen Uebersicht zusammen, welche hier mitzutheilen mir überflüssig scheint. Zehn dieser Versuche sind ohnehin doppelt, insofern die Beobachtungen in zwei verschiedenen Lagen der Bleigewichte angestellt wurden und einer ist dreifach, indem die Bleigewichte aus der Mitte und dann von beiden entgegengesetzten Seiten den Kugeln genähert wurden. Im Ganzen erhielt also Cavendish 29 Bestimmungen für die Dichtigkeit der Erde, wovon die 6 ersten mit einem dünnen, die übrigen mit einem dickeren Drahte erhalten wurden. Das Mittel aus jenen giebt die Dichtigkeit der Erde nach Cavendish = 5,48 mal gröſser als des Wassers, das Mittel aus allen übrigen beträgt genau ebensoviel. Die gröſste Abweichung der Extreme soll dann 0,75, also die Abweichung der

einzelnen Werthe vom Mittel nur 0,38 betragen, also nicht über $\frac{1}{14}$ des Ganzen.

Hier tritt indeſs der merkwürdige Umstand ein, daſs in den so leichten Angaben dieser Mittelwerthe sich bedeutende Rechnungsfehler finden. Ehe ich diese indeſs erörtere, will ich zuerst das Urtheil angeben, welches Cavendish selbst darüber gefället hat.

Zuvörderst findet er die Abweichungen sowohl in der Bewegung des Armes als auch in den Schwingungszeiten (die nicht constanten Gröſsen B und N in der Formel) in den einzelnen Versuchen zu groſs, als daſs sie von Beobachtungsfehlern herrühren könnten. Die Gröſse der Bewegung des Hebelarmes könnte allerdings durch Luftströmungen verändert seyn, welche als Folge ungleicher Temperatur anzusehen wären, allein wie dadurch auch die Schwingungszeiten afficirt werden konnten, ist nicht abzusehen, wenn man nicht eine merkliche Ungleichförmigkeit dieser Strömungen annehmen will. Daſs indeſs hieraus und aus sonstigen unbekannten Ursachen ein constanter Fehler erwachsen seyn sollte, ist auf keine Weise anzunehmen, da die Versuche während einer sehr langen Zeit und unter den vielfachsten Bedingungen der Temperatur, Feuchtigkeit u. s. w. angestellt wurden. Cavendish wirft auch die Frage auf, ob wohl das angenommene Newtonsche Gesetz der Anziehung hierbei allein als wirksam zu betrachten sey, und nicht auch ein anderes, welches die Erscheinungen der Cohäsion oder Adhäsion bewirkt. Allein hierzu kamen die Massen nicht nahe genug, und auſserdem gaben diejenigen Versuche keine abweichende Resultate, in denen sie einander absichtlich sehr genähert wurden. Hiernach, meint er also, könne die gefundene Dichtigkeit der Erde = 5,48 nicht füglich nm mehr als $\frac{1}{14}$ unrichtig seyn, doch weiche diese Bestimmung von der durch Hutton gefundenen = 4,5 mehr ab, als er erwartet habe. Welche von beiden Bestimmungen die richtigere sey, wage er nicht eher zu entscheiden, als bis er die möglichen Einflüsse auf seine Versuche genauer geprüft habe.

Eine genaue Prüfung beider Versuchsreichen, nämlich der durch Hutton und der durch Cavendish angestellten, ist überall noch nicht vorgenommen, und beide Resultate, näm-

nämlich 4,713 nach der Revision von Playfair und 5,48 nach Cavendish weichen um mehr als $\frac{1}{6}$ des mittleren Ganzen von einander ab, wenn man etwa 5 als diesen mittleren Werth ansehen wollte, und dieses ist allerdings mehr, als man von so ausnehmend genauen Versuchen erwarten sollte. Rücksichtlich auf Hutton's Versuche muſs allerdings in Anschlag gebracht werden, daſs der gelehrte und scharfsinnige Playfair sie einer abermaligen Prüfung unterworfen hat, welcher Fehler in den Berechnungen gewiſs entdeckt haben würde, auch hat von Zach [1] die von Maskelyne nicht mit in Rechnung genommenen astronomischen Beobachtungen gleichfalls berechnet, und ganz den nämlichen Abweichungswinkel des Bleilothes gefunden, als welcher aus den übrigen gefolgert ist, so daſs also von dieser Seite jene Versuchsreihe unerschütterlich feststeht. Hutton hat selbst seine Arbeit im hohen Alter nochmals revidirt [2], und gezeigt, daſs Maskelyne Beobachtungsfehler von einer ganzen Secunde im Bogen gemacht haben müſste, wenn das erhaltene Resultat dem durch Cavendish gefundenen gleich kommen sollte. Dabei ist er zwar geneigt, 5,00 als mittlere Dichtigkeit der Erde anzusehen, um die beiden gefundenen Werthe einander mehr zu nähern, allein hiermit ist offenbar dem Wahrheitsforscher nicht gedient, um so mehr als aus der oben von mir vorgenommenen Substitution des aus den neuesten Messungen folgenden genauesten Werthes für die Gröſse der Erde in die Formel der Berechnung die durch Hutton erhaltene Gröſse noch um eine Kleinigkeit geringer wird, indem hier nach $D = 4{,}71143$ ist.

Auf der andern Seite hat Cavendish eine vollständige Beschreibung seines Apparates, der damit angestellten Versuche und der Berechnungen derselben mitgetheilt, sie liegen vor Jedermanns Augen und Gilbert hat dieses alles bei seiner Bearbeitung genau geprüft, mit Ausnahme der letzten Zusammenrechnung, indem ihm sonst die oben schon erwähnten Fehler aufgefallen seyn müſsten. Die gröſste Abweichung der einzelnen Resultate von einander beträgt nämlich nicht 0,75 wie

1 L'Attraction des Montagnes cet. Avignon 1814. II. 690.
2 Phil. Trans. 1821. 276.

Cavendish angiebt, sondern 5,85 — 4,88 = 0,97, die Abweichungen dieser beiden Extreme von dem gleichfalls angegebenen Mittel aus allen erhaltenen Resultaten betragen aber 0,60 und 0,37. Allein auch das durch Cavendish angegebene Mittel ist unrichtig, und beträgt nur 5,447... nahe 5,448, man erhält indeſs genau 5.48, wenn man das eine erhaltene Resultat, nämlich 4,88 in 5,88 verwandelt, in welchem Falle indeſs die Differenz der Extreme = 0,78 und die Abweichungen derselben vom arithmetischen Mittel + 0,37 und — 0,41 betragen. Man würde indeſs Cavendish Unrecht thun, wenn man von diesen Fehlern auf seine ganze Arbeit schlieſsen wollte, denn ohne Zweifel ist die Zahl 4,88 ein bloſser Druckfehler statt 5,88. Es ist indeſs rührend zu lesen, daſs Hutton in seinem 84sten Jahre noch die Mühe übernahm, die ganze weitläuftige und schwierige Berechnung zu revidiren [1], wodurch er dann eine nicht unbedeutende Menge von Rechnungsfehlern auffand [2]. Nach dieser neuen Berechnung ist dann das Mittel aus den 6 ersten, mit dem dünneren Drahte angestellten Experimenten 5,19, und aus den 23 lezten, mit dem dickeren Drahte 5,43. Daſs auch diese beiden Werthe nicht unbedeutend abweichen muſs das Vertrauen auf dieselben etwas schwächen. Nimmt man aus beiden das arithmetische Mittel, so ist dieses = 5,31, welches von der zuletzt durch Hutton angenommenen Gröſse um 0,31 also nahe $\frac{1}{17}$ des Ganzen abweicht. Hierdurch verschwindet zwar die Differenz zwischen beiden Versuchsreihen etwas mehr, allein der unparteiische Wahrheitsforscher muſs bekennen, daſs eine solche Näherung nur trüglich ist. Man darf nämlich, ohne sich von der strengen Wahrheit zu entfer-

1 Phil. Tr. a. a. O. p. 286. I could derive no confidence in the results, nor compare them with the mountain experiment, without repeating the whole of the calculations. But, after a long life spent in allmost daily abstruse investigations, from the tenth year of my age, and now being at eighty-four, and oppressed with distressing illness, I thought I might be excused from such a task. But .... my anxiety to accomplish the business induced me to make an exertion to effect it myself.

2 Cavendish hat, wie Hutton berichtet, diese Berechnungen mindestens gröſstentheils, nicht selbst angestellt, deren bloſse Revision letzterer nicht mit Unrecht so severe an operation nennt.

nen, das durch Hutton gefundene Resultat um so weniger abändern, und höher als 4,71143 annehmen, je genauer und allseitiger die Prüfung desselben bisher angestellt ist, und ebenso folgt aus den Versuchen von Cavendish kein anderes Resultat als 5,32, nachdem dessen Versuche und Rechnungen auf gleiche Weise revidirt sind. Die Differenz bleibt also = 0,59 oder nahe $\frac{1}{8}$ des Ganzen, und um so viel bleibt also unsere Kenntniſs von der mittleren Dichtigkeit der Erde ungewiſs, sobald wir beiden Versuchsreichen einen gleichen Werth zugestehen.

Je schmerzlicher es ist, über eine so wichtige Frage keine gröſsere Gewiſsheit zu haben, und je geringer die Hoffnung, solche kostbare und schwierige Versuche zur Beantwortung derselben noch einmal angestellt zu sehen, um so lebhafter muſs der Wunsch seyn, über den Werth der bereits vorhandenen mit mehr Zuversicht zu entscheiden. Gegen die von Hutton und Maskelyne kann nur eine einzige Einwendung stattfinden, nämlich die Unbestimmtheit der Dichtigkeit des Berges. Es wäre nämlich möglich, daſs unter den untersuchten Felsarten noch andere von gröſserem spec. Gew. z. B. basaltische lägen, allein nach allen Resultaten, welche die vielfachen und genauen geognostischen Untersuchungen bisher geliefert haben, ist dieses höchst unwahrscheinlich, und wollte man auch wegen gröſserer Nässe und der Wirkung des Druckes der oberen Schichten auf die unteren das spec. Gew. der Felsarten etwas höher annehmen, so würde dadurch die mittlere Dichtigkeit der Erde nicht füglich höher als in runder Zahl = 4,72 anzunehmen seyn. Gegen die Versuche von Cavendish läſst sich dagegen vieles einwenden. Hutton bemerkt, daſs ein so feiner und zusammengesetzter Apparat an sich keine absolute Genauigkeit geben könne, indeſs begreift man doch nicht, wie hieraus irgend ein constanter Fehler entstehen konnte, und dann müſsten sich die Differenzen der zahlreichen einzelnen Resultate durchaus gegenseitig aufheben. Inzwischen könnte ein solcher allerdings aus der mitgetheilten Erschütterung entstehen, welche an bewohnten Orten stets stattfindet, hierdurch würden die Schwingungsbogen vergröſsert und die Schwingungszeiten verkleinert werden, also gäbe dieses allerdings einen constanten Fehler, wodurch das Resultat im Allgemeinen vergröſsert wird. Wir haben aber nach Cavendish's Berichte Ursache, etwas

dieser Art anzunehmen, da der Apparat aller angewandten Vorsicht ungeachtet selten eine Stunde stillstand[1]. Ferner hatte CAVENDISH anfangs eiserne Träger der Gewichte, statt der nachher gebrauchten kupfernen, welche aber nach vorläufigen Versuchen den Arm um 1 bis 1,5 Theilungen anzogen, statt dafs sie ihn vermöge ihrer Masse der Berechnung nach nur um 0,2 anziehen sollten. Diese 5 bis 7,5 fach gröfsere Wirkung schrieb CAVENDISH dem Magnetismus zu, und vertauschte daher die eisernen Stangen mit kupfernen, allein auch hierbei *blieb etwas von der bemerkten Einwirkung zurück, nur weniger regelmäfsig*[2], welches aber nicht weiter beachtet wurde. Kupfer ist nie völlig frei von Eisen, und COULOMBS Versuche haben erwiesen, dafs alle mit stählernen Werkzeugen gearbeitete Körper eine geringe magnetische Einwirkung zeigen, weswegen es möglich ist, diese Erscheinung jener Ursache beizumessen. Wenn nun aber nicht blofs diese Stangen, sondern ebensowohl auch die Bleikugeln einen gröfseren Einflufs der Anziehung gezeigt hätten, als sie der Berechnung nach äufsern mufsten, so entstand auch hieraus ein constanter, die Resultate sämmtlich *vergröfsernder* Einflufs. Irgend eine, das Gegentheil bewirkende, die Resultate daher *verkleinernde* Ursache kann ich meinerseits nicht auffinden, und es müssen sonach diese Versuche, so schätzbar sie übrigens sind, an ihrer Beweiskraft nothwendig verlieren. *Wir dürfen daher vor der Hand, und bis andere Versuche den Gegenstand mehr aufklären*[3], *die*

1 Phil. Tr. LXXXVIII. 474.... notwithstanding the pains taken to prevent any disturbing force, the arm will seldom remain perfectly at rest for an hour together.

2 Ebend. S. 479. there still seemed to be some effect of the same kind, but more irregular, so that I attributed it to some accidental cause, and therefore hung on the leaden weights, and proceeded with the experiments. Es bleibt immer fraglich, ob nicht der Magnetismus dennoch einen so feinen und sonst nicht bemerkbaren Einflufs hatte. ARAGO's neueste magnetischen Versuche könnten auf so etwas hindeuten.

3 Für solche Versuche erlaube ich mir unmafsgeblich vorzuschlagen den Apparat etwas abzuändern, und insbesondere die Erschütterung zu vermeiden, welche aus der Drehung der Gewichte auch bei gröfster Festigkeit der Wände des Zimmers entstehen mufste, aufserdem aber das ganze Verfahren zu vereinfachen. Zur Erreichung dieses Zweckes scheint es mir am besten, die Bleigewichte an einem

mittlere Dichtigkeit der Erde so annehmen, wie sie aus den genau berechneten Versuchen von Maskelyne *und* Hutton *folgt, nämlich* = 4,72. Hierfür entscheidet vorzüglich das noch kleinere Resultat, welches nach der oben angeführten Angabe Carlini aus seinen Pendelmessungen erhalten hat, desgleichen dafs La Place[1] vermittelst seiner scharfsinnigen Berechnungen die Dichtigkeit des Erdkerns = 4,761 findet, wenn die der äufseren Rinde = 3 gesetzt wird, da man den letzteren Werth als der Wahrheit sehr nahe kommend ansehen kann.

V. Temperatur der Erde.

Dieser Gegenstand macht wohl ohne Widerrede den

Drahte, dessen Gewicht vernachlässigt werden könnte, so aufzuhängen, dafs ihre Mittelpuncte mit den Mittelpuncten der am Waagebalken unmittelbar befestigten Bleikugeln im Zustande der Ruhe desselben in eine horizontale Linie fielen, dann die Schwingungen des Waagebalkens zuerst ohne die Bleimassen, und demnächst bei unveränderter Temperatur und gleichem Barometerstande nach genäherten Bleimassen zu messen. Indem die letzteren dann vermöge ihrer Anziehung die Dauer der Oscillationen verkürzen, so liefse sich aus dem Unterschiede der Schwingungszeiten und Schwingungsbogen die Stärke der Anziehung der Bleimassen, und hieraus die Dichtigkeit der Erde berechnen, wenn man anders dagegen völlig gesichert ist, dafs aufser der Massen-Anziehung nicht noch eine andere, eine magnetische oder elektrische einwirkt. Eine allgemeine Methode zur Berechnung der aus solchen Versuchen erhaltenen Resultate von H. W. Brandes findet man in Voigt's Mag. XII. 300.

1 Méc. Cél. T. V. p. 46. M. G. Drobisch in: de vera Lunae figura cet. Leipzig 1826. p. 48. schlägt vor, aus der Ungleichheit der Pendelschwingungen in tiefen Gruben die zunehmende Dichtigkeit der Erde zu finden. So zweckmäfsig auch dieses Mittel ist, so stehen der Anwendung desselben aufser den Schwierigkeiten solcher Versuche im Allgemeinen noch diese entgegen, dafs man bisher nur bis zu geringen Tiefen unter die Oberfläche des Meeres zu dringen vermochte (S. unten VI. B. i. A.), und die als Beispiel angenommene Tiefe von 1400 F., wobei nach Hutton's Bestimmungen der Dichtigkeit nur eine Differenz der täglichen Pendelschwingungen von 2'',6 statt findet, dürfte daher für solche Bedingungen schwerlich erreichbar seyn. Aufserdem aber müfste zugleich die so schwer bestimmbare negative Anziehung der oberhalb befindlichen Masse mit in Rechnung genommen werden, wenn man in einem Schachte eines hohen Berges sich zu solchen Versuchen herablassen wollte. Inzwischen läfst sich nicht voraus bestimmen, ob und wie weit diese Schwierigkeiten künftig noch überwunden werden können.

schwierigsten Theil der gesammten physikalischen Untersuchungen über die Erde aus, und gehört dahin zuerst die Temperatur des Erdkernes, dann der Erdkruste, ihrer Oberfläche und zuletzt der sie umgebenden Atmosphäre, sofern diese als integrirender Theil derselben von ihr unzertrennlich ist[1].

A. Temperatur der Erde im Innern derselben.

Da der Halbmesser der Erde fast 860 geographische Meilen beträgt, bishero aber noch niemanden gelungen ist, nur bis auf eine halbe Meile vom Spiegel des Meeres an in die Erde einzudringen, so begreift man leicht, daſs sich über den Kern der Erde nur weniges, und auf allen Fall die Beschaffenheit desselben auf keine Weise aus der Erfahrung bestimmen läſst. Inzwischen forderten die Erscheinungen der Vulcane und heiſsen Quellen zu einer Erklärung auf, und ohne zu überlegen, wie weit die Ursachen derselben vom Centro der Erde entfernt liegen mögen, schloſs man aus der Tiefe der vulcanischen Herde auf ein *Centralfeuer*, und machte sich von diesem verschiedene Vorstellungen. Die Annahme eines eigentlichen, im Centro der Erde brennenden Feuers findet man wohl nur bei einigen älteren Schriftstellern, indem schon Gassendi zeigte, daſs ein Brennen in einem eingeschlossenen Raume nicht statt finden könne. Die späteren Begriffe sind vorzüglich begründet durch Mairan, welcher unter Centralfeuer übrigens nicht sowohl ein eigentliches brennendes Feuer, als vielmehr eine innere Erwärmung verstand[2]. Weil die Wärme mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, der Frost nie tief in die Erde dringt, das Meer in groſsen Tiefen ungefroren ist, und insbesondere zur Erklärung des Unterschiedes der Klimate schreibt er der Erde eine innere Wärme, eine *Grundwärme* zu, welche seines Berechnung nach 393 mal gröſser seyn soll als diejenige Wärme, welche die Sonne in Paris am kürzesten Tage hervorbringt. Die Verschiedenheit der Klimate leitet er von der ungleichen Er-

1 Wegen der unverhältniſsmäſsigen Länge, wozu der Artikel *Erde* anwachsen müſste, können in Beziehung auf die Wärme der Erde meistens nur die Hauptresultate angegeben werden, eine gründlichere Erörterung bleibt andern Artikeln, namentlich *Temperatur* und *Klima* vorbehalten.

2 Mém. de l'Ac. 1719. p. 124. Nouvelles recherches sur la cause générale du chaud en été et du froid en hiver cet. Par. 1768. 4.

härtung der Erdoberfläche durch die Sonnenwärme her, als die Erde noch flüssig war. Indem diese Festwerdung nämlich unter dem Aequator früher als an den Polen erfolgte, so konnte sich die Wärme dort nicht so sehr ausbreiten, als an den Polen.

Dieser letztere Theil von Mairan's Hypothese ist etwas seltsam. Uebrigens führten ihn die Beobachtungen der unveränderlichen Temperatur in tiefen Kellern auf die ganze Idee, indem dorthin weder Wärme noch Kälte von Aufsen zu dringen schien, und die vorhandene Temperatur daher als ein Residuum früherer Wärme erscheinen mufste. Der Zusatz einer Vermehrung derselben nach dem Innern des Erdballes hin war ohne Zweifel durch die vulcanischen Erscheinungen veranlafst, auch waren Mairan schon damals einige Beobachtungen vom Wachsen der Wärme in der Tiefe der Schachten bekannt, denen indefs Bergmann[1] andere minder begründete Erfahrungen entgegensetzte.

Büffon's bekannte Hypothese ist sinnreich und mit grofser innerer Consequenz ersonnen, weswegen sie etwas modificirt noch jetzt Anhänger findet. Sie hängt mit seiner Erklärungsart der Bildung und allmäligen Veränderung der Erdoberfläche zusammen, und nimmt an, dafs die Erde als ein von der Sonne durch einen Kometen abgestofsener Theil ursprünglich die Glühhitze gehabt habe, allmälig erkaltet sey, noch gegenwärtig aber im Centro eine der Glühhitze fast gleiche Temperatur behalten habe, in langen Perioden allmälig erkalte und zuletzt durch gänzliche Erstarrung unbewohnbar werden müsse. Die hierzu erforderlichen Zeitperioden nimmt er allerdings als sehr grofs an, und stützt sich hierbei auf Beobachtungen des Erkaltens gegebener glühender Massen; seine Ansicht von der Temperatur im Innern der Erde ist indefs blofs hypothetisch, und sein System verdient daher, als dem neuesten der Vulcanisten sehr nahe kommend, am gehörigen Orte erwähnt zu werden[2].

Büffon's Hypothese fand viele Anhänger, allein es ist merkwürdig, dafs man nachher zu fast völlig entgegengesetzten Vorstellungen überging. Dieses lag nicht sowohl in der Verbreitung der durch Werner begründeten Theorie der Neptunisten, als vielmehr in der Behauptung einiger Seefahrer, wonach

1 Physische Beschreibung der Erdkugel. II. §. 141.

2 Vergl. Art. *Geologie*.

das Meer mit zunehmender Tiefe kälter werden, und am Boden gefroren seyn sollte[1]. Hiernach erschien der Erdball als ein erstarreter Eisklumpen, oder mindestens bis unter 0° C. erkaltet. Aepinus, und mit ihm mehrere andere nahmen an, die Erwärmung der Erde sey und werde bloſs durch die Sonnenstrahlen bewirkt, welche den Beobachtungen nach nicht tief eindringen können. Auſserdem zeigte die Erfahrung, daſs die äuſsere Erdrinde in der Tiefe von 50 bis 100 F. auf allen Fall eine der mittleren Temperatur der Oberfläche gleiche, ganz unveränderliche Wärme habe, das Interesse für die erörterte Hauptfrage erkaltete allmälig, und während man die Geognosie durch zahlreiche Erfahrungen erweiterte, und hiernach Hypothesen über die Bildung und allmälige Veränderung der Erdrinde ausdachte, lieſs man jene Untersuchungen ruhen.

Die Frage über die Temperatur im Innern der Erde kam indeſs abermals zur Sprache und aufs Neue in lebhafte Anregung durch einige Versuche, welche von Trebra in den Minen zu Freiberg anstellen lieſs, aus welchen eine mit der Tiefe zunehmende Erhöhung der Wärme folgte, obgleich schon früher ähnliche Beobachtungen gemacht, aber minder beachtet waren[2]. Wenn man die älteren und nicht hinlänglich genauen ausschlieſst, so ist v. Saussüre der erste, welcher auf diese Erscheinung aufmerksam machte[3]. Er fand in den Salinen von Bex in einer Tiefe von 332 F. 14°, 4 C.; von 564 F. 15°,6; und von 677 F. 17°,4, wobei zu bemerken ist, daſs dort keine metallische Substanzen vorhanden sind, und daſs damals seit 3 Monaten niemand in diese Tiefen gekommen war. D'Aubuisson[4], welcher diese Erfahrungen kannte, untersuchte die Sache in den Minen zu Freiberg, und erhielt in verschiedenen derselben folgende Resultate nach Graden der Centesimalscale.

---

1 Insbesondere stellte de la Metherie diesen Satz auf, und fand darin einen Gegenbeweis gegen die Annahme eines Centralfeuers. S. J. d. Ph. LX. 81.

2 Mon. Cor. IX. 349.

3 Voyages cet. §. 1088.

4 Traité de Géognosie, cet. II. Vol. 8. Strasburg 1819. I. 444. Vergl. Journ. des Mines. T. XIII.

Tiefen in Met.	Beschert Glück	Himmelfahrt	Küh-schacht	Jung-Hohe-Birke
0	8	8	8	8
100	....	10	....	10
120	9,5	....	....	11
160	....	....	....	12,5
180	....	12,5	....	....
200	....	....	....	14
220	12,5	....	12,5	....
240	....	....	....	15
260	14,5	14,5	14	....
280	....	....	....	16
300	15,5	....	16	....
330	....	....	....	17

D'Aubuisson bemerkt dabei, daſs Freiberg unter 51° N. B. und 400^{m} über dem Spiegel des Meeres liegt. Die Beobachtungen wurden am Ende des Winters 1802 gemacht, in welchem das Thermometer bis — 18° C. sank. Zur Zeit der Beobachtungen stand das Thermometer auf — 3° bis 4° C., die mittlere Temperatur ist etwa 8° bis 9°, und an chemische Zersetzungen des überall todten Gesteines ist nicht zu denken. Die Wärme in 220 und 260 Metres Tiefe ist durch Wasser bestimmt, welches aus einer etwas gröſseren Höhe kam, und zeigte sich im Mai und im Januar gleich; stagnirendes Wasser in 260 Metres Tiefe war 15° warm. Aus allen seinen Versuchen schlieſst D'Aubuisson, daſs die Temperatur der Minen in Freiberg bei 300^{m} Tiefe die der Oberfläche um 8° übertrifft.

Die genannten Versuche veranlaſsten v. Trebra in den Jahren 1805 bis 1807 an den geeignetsten Orten in Freiberg Thermometer gegen Verletzung und anderweitige Einflüsse, auſser die örtliche Wärme, geschützt, aufhängen und genau beobachten zu lassen[1]. Das obere derselben zeigte stets 11°,87, das andere, 294 F. tiefer hängende 15° C. Wiederholte Beobachtungen an vier verschiedenen Orten, welche in einem Umfange von drei deutschen Meilen im Gneis-Gebirge von einander lagen, ergaben im Jahre 1815 in 55 F. Tiefe 8°,75 C. in 601 F. 12°,8; in 953 F. 15°; in 1348, 5 F. 18°,75, wonach auf 120 F. Tiefe 1° C. kommt, und also in einer Tiefe von et-

1 Geograph. Ephem. XLIX. 433. Journ. de Ph. LXII. 443. Vergl. D'Aubuisson a. a. O.

wa 52 Meilen schon die Schmelzhitze des Eisens anzutreffen wäre. Dabei zeigen sich nirgends Spuren von Schwefelkiesen oder sonstigen chemisch auf einander einwirkenden Stoffen in jenen Gebirgen[1], und es war daher natürlich, daſs diese auffallenden Erscheinungen die Aufmerksamkeit der Physiker erregen muſsten.

Seitdem sind die Versuche dieser Art sehr vermehrt, und man hat die Sache selbst an den verschiedensten Orten bestätigt gefunden. Mehrere Beobachtungen werden noch jetzt an sehr verschiedenen Orten angestellt, und müssen die Sache selbst demnächst mehr aufklären, jedoch ist es zugleich von unverkennbarem Nutzen, das bereits Geschehene in einer Uebersicht zusammengestellt mit künftigen Erfahrungen vergleichen zu können.

Gensanne[2] fand in den Minen von Giromagny bei Béfort in den Vogesen in 110 Met. Tiefe 12°,5 C. in 206 M. 13°,1; in 308 M. 19° und in 433 M. 22°,7. Thomas Lean[3] untersuchte in gleicher Absicht die Minen von Cornwallis, und erhielt zwei Reihen von Beobachtungen, wovon die erste mitten im Sommer, die zweite mitten im Winter angestellt wurde, welches wegen der abweichenden Resultate bemerkt werden muſs, indem diese in groſsen Tiefen billig nicht statt finden sollten.

1. Sommerbeob.			2. Winterbeob.		
5,5 Met.	—	18°,5 C.	5 Met.	—	11°,1 C.
91	—	29,5	91	—	17,2
146	—	20,0	183	—	19,0
295	—	21,7	293	—	21,1
329	—	22,7	329	—	23,3
348	—	26,1	366	—	25,5

1 Daſs verwitternde Schwefelkiese die Temperatur erhöhen können, fand d'Aubuisson in einer Mine bei Huelgoat in Bretagne; woselbst oben 11° in 230 Meter Tiefe aber 19°,7 herrschend, das Wasser aber vitriolisch war. S. Journ. des Mines. XXI. Ann. Ch. et Ph. XIII. 184.

2 Ann. Chim. et Ph. XIII. 184.

3 J. de Ph. LXXXVII. 1. Diese und noch einige Beobachtungen in englischen Minen. S. Ann. de Ch. et Ph. XIII. 200.

Forbes und Fox erhielten in Minen gleichfalls in Cornwallis auf etwa 36 F. Tiefe eine Zunahme von 1° C. bis zu einer Tiefe von 1400 F. herab, wonach das Wasser an der tiefsten Stelle eine Wärme von 26°,7 erreichte. Durch den Aufenthalt der Menschen daselbst und die Explosionen des Sprengpulvers, das Brennen der Lichter etc. wird dort allerdings Wärme erzeugt, aber diese ist nicht hinreichend, die höhere Temperatur zu erklären, und sie suchen die Ursache daher in einer natürlichen Erdwärme[1]. Auch Gay-Lussac folgert aus diesen Beobachtungen, dafs die Erscheinung nicht von chemischen Processen, namentlich von der Zersetzung der Schwefelkiese, abzuleiten sey, sondern von einer inneren Hitze der Erde[2].

Eben diese Beobachtungen aber sind durch Moyle sehr stark bestritten, welcher überhaupt die Hypothese einer höheren Wärme in gröfseren Tiefen verwirft, und dagegen zu beweisen sucht, dafs in tieferen und gegen Luftzug gesicherten Schachten die anhaltende Anwesenheit der Arbeiter und das Brennen der vielen Grubenlichter die Temperatur noch mehr erhöhen müsse, als die Erfahrung angäbe[3]. Sein Widerspruch hat indefs einen längeren Streit und eine fortgesetzte Untersuchung der Sache veranlafst. Vorerst zeigt Fox, dafs seine Beobachtungen nicht die Luft im Innern der Gruben und selbst nicht die Wände derselben betreffen, sondern das Wasser, was in einer Tiefe von 1440 F. hervorquellend die angegebene Wärme von 26°,7 zeige, und unmöglich durch die von Moyle angegebenen Ursachen diese Temperatur erhalten haben könne[4]. Aufserdem aber hat er seine Beobachtungen noch sehr vermehrt[5], gesteht zu, dafs man keine stets gleichmäfsige Vermehrung der Wärme erwarten könne, weil so viele bedingende Einflüsse nicht gut zu beseitigen sind; indefs gehen aus seinen Versuchen im Allgemeinen folgende Resultate hervor.

---

1 Phil. Mag. 1820. Oct.
2 Ann. Ch. Ph. XVI. 78.
3 Annals of Phil. 1822. Ap. p. 308.
4 Annals of Phil. 1822. Mai p. 381.
5 Ebend. Dec. p. 440. Vergl. Ann. Chim. et Ph. XXI. 310.

Tiefe in Fathoms	Temp. des Wassers	Temp. der Luft
20	14°,4 C.	13,3
40	13,3; 15,6; 12,2	13,9; 15,6
60	15,6; 16,7; 14,4	16,1; 16,7; 15,6
80	17,8; 16,7	18,3; 17,8
100	18,3	18,9
110	17,8; 18,9	18,3; 18,9
120	19,0; 18,9	20,0
130	22,2; 23,3; 17,2	22,7; 23,3; 16,7
140	25,5; 21,1	25,5; 22,2; 27,1; 23,8
150	24,4; 26,7	22,2; 26,7
160	18,9	22,8
170	18,0; 25,0; 28,9	18,9; 24,4
180	22,2; 20,5; 30	23,3; 22,2; 31,0.

Die hier angegebenen verschiedenen und unregelmäfsig wachsenden Temperaturen können das Vertrauen in die Genauigkeit der Beobachtungen nicht schwächen, vielmehr mufs man der Aufrichtigkeit des Referenten den gebührenden Beifall schenken. Das Wasser kann nämlich leicht entweder aus tieferen Quellen emporsteigen oder aus höheren herabsinken, und daher an dem nämlichen Orte eine sehr abweichende Wärme zeigen, und eben dieses kann bei der Luft der Fall seyn. Abstrahirt man aber von der gröfseren Wärme der Luft, welche allerdings durch die angegebenen Ursachen herbeigeführt seyn kann, so ist doch nicht abzusehen, woher das Wasser eine höhere Temperatur, als die der Quellen oder nahe die mittlere des Ortes ist, erhalten haben sollte, und die beobachteten 20 bis 30 Grade würden also ganz unerklärlich bleiben, wenn keine chemische Zersetzungen sie herbeigeführt hätten, welche aber nirgend bestimmt nachgewiesen sind. Fox legt daher einen vorzüglichen Werth auf die beobachteten Temperaturen der vereinigten Gruben-Wasser. Diese fand er in 100 bis 110 Fathoms = 18°,3 C.; in 110 bis 120 Fathoms = 19°,2 und in 150 bis 160 Fathoms = 23°,0. Indefs setzt Moyle diesen Beobachtungen andere von ihm selbst gemachte entgegen, wonach die Temperatur in bearbeiteten Gruben nach den Wassern gemessen höher war als in unbearbeiteten, indem in den letzteren die mittlere Wärme der Oberfläche in allen Tiefen gleich gefunden wurde[1], und

1 Ann. of Phil. 1823. Jan. p. 43.

diese Ansichten theilt WALMORE nach Beobachtungen in den schwedischen Bergwerken[1]. Man sieht aber bald, dafs in den verlassenen Gruben das Wasser sich gesammelt hatte, wobei das kältere als spec. schwerer herabsank. Eben dieses ereignet sich bei der Luft, und erklärt MOYLE's Widerspruch zur Gnüge, ohne jene Thatsachen umzustofsen[2]. Eine gleichfalls beweisende Erscheinung zeigte sich, als in der Gegend von London für einen Brunnen eine 140 F. tiefe Thonschicht durchgraben wurde, und das reichlich quellende Wasser bleibend 12°,2 C. zeigte, ohngeachtet die dortige mittlere Temperatur nach LUKE HOWARD nur 9°,7 nach v. HUMBOLDT aber 10°,2 ist[3].

Aufser den Beobachtungen in Deutschland, England und Frankreich haben wir ähnliche aus andern Ländern. Unter die gehaltreichsten gehören diejenigen, welche FANTONETTI in den goldhaltigen Minen von Pestarena di Macugnana im Thale Anzasca anstellte[4]. Die tiefen Schachte liegen in einem Berge, welcher aus Gneis besteht, und gleichsam den Fufs des Monte-Moro bildet, woran der hohe Monte-Rosa grenzt. Die Schachte haben vier Abtheilungen, deren eine tiefer als die andere ist weswegen ein Schacht 500 Meters tief herabgeht, und die Luft freien Zutritt hat. Die Messung der Temperatur geschah im Winter und im Sommer, auch wurden die Thermometer so aufgehangen, dafs sie die Wärme der Felsen und auch des auf den Gallerieen sich sammelnden Wassers angaben.

1. Beobachtungen vom 13ten März, Temperatur im Freien =3°,8 C.

---

1 Stockholm. Denksch. 1821. Jan. Vergl. Archives des découvertes 1823. p. 81.

2 Eine Zusammenstellung dieser und anderer Beobachtungen in den englischen Minen findet sich in Trans. of the Geolog. Soc. T. II. Vergl. Ann. of Phil. VI. 441. Journ. de Ph. XCV. 307. Die neuesten Versuche von MOYLE in Ann. of Phil. N. LXIV. p. 259 entscheiden mehr *für* eine Zunahme der Temperatur als *gegen* dieselbe.

3 Ann. of Phil. N. S. IV. 441.

4 Brugnatelli Giornale cet. 1821. p. 467.

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0	— —	10°,3
50 Met.	5°,1	10,2
100 -	7,5	11,3
150 -	10,0	12,5
250 -	11,3	13,7
350 -	13,1	14,2
450 -	15,0	13,7
702 -	16,3	16,5

2. Eine ähnliche Reihe von Beobachtungen am 7ten Mai gab die Wärme der äufsern Luft = 12°,5 und in der Tiefe von 300 Meters an genau wie oben.

3. Am 6ten Aug. erhielt er bei einer äufseren Temperatur von 20°,0 C. in den Minen folgende Gröfsen:

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0	— —	12°,5
50 Met.	12,5	12,0
100 -	12,0	—
150 -	12,0	—
250 -	12,2	—
350 -	13,1	—
450 -	15,0	13,7
702 -	16,3	—

Man könnte gegen die Beweiskraft dieser Resultate ein Argument daraus hernehmen, dafs gerade das Wasser im Sommer sich kälter zeigte als im Winter, und daher die Temperatur der Tiefe von der Wärme des im Sommer herabgesunkenen Wassers ableiten; allein dann wäre unbegreiflich, wodurch die Temperatur der Tiefe sich so durchaus constant erhalten sollte. Vielmehr läfst sich nicht füglich etwas anderes annehmen, als dafs das Wasser von der mittleren Temperatur des Ortes, wie sie bei tiefern Quellen gewöhnlich ist, durch einen längeren Einflufs der wärmeren Felsen etwas erhöhet wird.

Auch v. Humboldt[1] fand in den Minen von Neuspanien zwischen 500 bis 770 F. 23°,7 bis 27°,6; in 1540 F. Tiefe aber 33°,8 C. In einer anderen Grube zeigte das Thermometer oben 20°,8, in einer Tiefe von 582 F. aber 33°,7; in denen von Villalpando oben 22°,4 und in 412 F. Tiefe 29°,4. Die Zahl der

1 Ann. de Ch. et Ph. XIII. 184.

gemachten Beobachtungen könnte leicht noch vermehrt werden, wenn dieses erforderlich wäre.

Werden diese und andere ähnliche, der Kürze wegen übergangene Beobachtungen einer vorurtheilsfreien Prüfung unterworfen, so beweisen sie keineswegs directe, eine bedeutend höhere oder gar eine der Schmelzhitze des Eisens nahe kommende Wärme des *eigentlichen Erdkernes*, denn sie bleiben zu sehr in der äufseren Oberfläche, als dafs sie zu einem solchen Schlusse berechtigen sollten. Rücksichtlich der eigentlichen Hauptfrage, nämlich über die Wärme des Erdkernes bleiben wir fortwährend im Gebiete der wahrscheinlichen Vermuthungen oder gänzlicher Ungewifsheit. Was sie aber bestimmt beweisen, ist dennoch deswegen nichts weniger als unwichtig, denn es geht aus ihnen klar hervor, dafs die Erdrinde in einer Tiefe, welche in Gemäfsheit der zunächst (unter B) folgenden Untersuchungen dem Einflusse der äufseren Erwärmungen nicht mehr ausgesetzt ist, eine höhere Temperatur hat, als die äufsere Kruste selbst. Dieser Satz wird aufserdem noch durch einige unwidersprechliche Thatsachen mindestens im hohen Grade wahrscheinlich. Hierhin könnte man die vulcanischen Thätigkeiten rechnen, allein es ist streitig, woher diese ihren Ursprung haben, indem die dabei herrschende grofse Hitze unter der oberen Erdrinde auch durch locale Zersetzungen entstehen kann. Etwas beweisender sind die heifsen Quellen, denn obgleich das Wasser derselben vielleicht über vulcanischen Herden erwärmt wird, einige Geologen auch geneigt sind, die Wärme derselben dem unmittelbaren Einflusse chemischer Zersetzungen beizumessen (welche Hypothese jedoch gar vieles wider sich hat), so beweisen sie doch eine im Innern der Urgebirge existirende, seit Jahrtausenden unerschöpfliche Wärmequelle [1]. Auch die gemeinen Quellen tieferen Ursprunges sind mindestens in nördlicheren Gegenden etwas wärmer als die mittlere Temperatur der Oerter, wo sie entspringen. Inzwischen beruhet dieses Argument auf nicht völlig sicheren Thatsachen, und würde für sich allein keine bedeutende Beweiskraft haben. Weit mehr ist dieses der Fall bei demjenigen, welches auf der Erfahrung beruhet, dafs das Eis der Gletscher von unten her allmälig verzehrt wird.

---

1 Vergl. *Quellen, Temperatur derselben.*

Auf dieses Phänomen haben schon de Lüc[1], de Saussüre[2] u. a. aufmerksam gemacht, und dasselbe aus einer stets zuströmenden Erdwärme erklärt. Wäre eine solche nicht vorhanden, so hätte durch die Jahrhunderte, ja sogar Jahrtausende hindurch einwirkende Eiskälte die Erdrinde längst bis zur Temperatur des Eises herabsinken und erstarret seyn müssen[3].

Obgleich also aus diesen Thatsachen unverkennbar hervorgeht, dafs die Erdrinde in einer Tiefe, bis wohin die äufseren bedingenden Einflüsse der Temperatur nicht dringen, eine höhere, und also von der Erde selbst ausgehende, Wärme besitze, so folgt doch hieraus keineswegs, dafs diese weiter nach Innen zunehme, noch weniger dafs sie nach einer aus den Beobachtungen folgenden Progression wachse, vielmehr könnten die angegebenen Erfahrungen sogar mit einem gänzlichen Erstarrtseyn des Erdkernes sehr gut bestehen, wenn man voraussetzen wollte, dafs einen solchen tief erkälteten Erdkern eine wärmere Kruste umgäbe, welche wir in den aufgegrabenen Schachten erreichen. Zugleich ist es indefs weder unmöglich, noch auch irgend einer Thatsache widersprechend, der eigentlichen Erdmasse von der Tiefe einer oder etlicher Meilen an eine Glühhitze beizulegen, welche die des schmelzenden Eisens noch übertreffen könnte, vielmehr würde eine solche Hypothese manche Erscheinungen, namentlich die vulcanischen, sehr gut zu erklären geeignet seyn. Auf allen Fall ist es aber vergeblich, auf die angegebenen Beobachtungen ein Gesetz der Wärmezunahme nach dem Centrum der Erde hin zu gründen[4], indem wegen des Einflusses örtlicher Bedingungen die verschiedenen Versuchsreihen so sehr abweichende Resultate gaben, dafs ich die auf diesem Wege erhaltenen Werthe für eine Mittheilung nicht einmal für geeignet halte. Ueberhaupt sind alle jene Beobachtungen, ihres sonstigen Werthes ungeachtet, nur als unvollkommene Versuche zu betrachten, welche mehr geeignet sind die eigentlichen Schwierigkeiten aufzudecken, als die Hauptfrage selbst zu entscheiden. Letzteres beruhet offenbar auf folgenden Bedingungen.

---

1 Recherch. sur l'Atmos. II. 327. Lettres phys. et mor. I. 140.

2 Voyages cet. §. 533.

3 Vergl. J. A. de Lüc d. j. in Bibl. univ. XVIII. 40.

4 Aufser den oben mitgetheilten Angaben von v. Trebra und anderen glaubt J. A. de Lüc d. j. a. a. O. dafs in 6000 F. Tiefe 50° C. mittlere Temperatur sey.

Fig. 179. Es sey ab eine die Oberfläche der Erde berührende Linie, $\alpha\beta$ eine mit ihr parallel laufende, in welcher die jener zukommende Temperatur $= x$ zu $x + dx$ vermehrt seyn mag. Die Linie cde bezeichne die Krümmung eines Berges, und $\gamma\delta\varepsilon$ eine dieser gleichfalls parallele, die Grenze der angegebenen Temperaturvermehrung bezeichnende, so läſst sich zuvörderst fragen, ob in der Wirklichkeit die letztere Linie mit der ersteren eine gleiche Krümmung habe. Bei den Versuchen ist dieses ohne weiteren Beweis angenommen, oder vielmehr man hat die Frage selbst gar nicht aufgeworfen, indem man die lothrechte Tiefe angegeben hat, ohne zu berücksichtigen, daſs z. B. eine Messung von f bis g ein ganz anderes Resultat geben muſs, als von d bis δ. Ueberhaupt aber kann diese Aufgabe nie vollständig durch die Erfahrung entschieden werden, weil wir in der Regel im Niveau des Meeres oder nur wenig über demselben mehrere Hunderte von Fuſsen in die Erde zu dringen nicht vermögen; man kann sie daher nur durch die Vergleichung der Messungen an verschiedenen ungleichen Orten der Entscheidung nahe bringen, und auch dieses ist mit groſsen Schwierigkeiten verbunden.

Obgleich hiernach die Frage über die Temperatur des Erdkernes unentschieden bleibt, so giebt es doch zwei Hypothesen hierüber[1], welche wegen ihres Zusammenhanges mit den vulcanischen Erscheinungen eine Erwähnung verdienen. Nach Humphry Davy nämlich entstehen die Erscheinungen der feuerspeienden Berge dadurch, daſs die nicht oxydirten metallischen Theile, welche die eigentliche Erdmasse oder eine tiefere Schicht derselben ausmachen, hauptsächlich durch die Zersetzung des Wassers oxydirt werden, und hierdurch, wie z. B. Kalium bei seiner Zusammenkunft mit Wasser heftig verbrennen[2]. Diese Hypothese läſst es unentschieden, welche Temperatur diese Stoffe vor ihrer Oxydirung haben, indem diese eben sowohl eine sehr hohe als eine sehr niedere seyn kann. Sie beantwortet also die Frage über die Temperatur des Erdkernes gar nicht, läſst aber schlieſsen, daſs die höhere Wärme in

---

1 Prechtl's Hypothese in Jahrb. des polyt. Inst. III. 1, welcher die höhere Wärme im Innern der Erde vom Drucke ableitet, wird weiter unten angegeben werden.

2 Vergl. *Vulcane*.

gröfseren Tiefen noch ein Ueberbleibsel derjenigen ist, welche in früheren Zeiten erzeugt wurde, als diese Schichten sich säuerten, also früher sehr allgemein verbreiteter vulcanischer Processe.

Die zweite Hypothese, eigentlich die erneuerte Buffon's, ist von Fourier, einem Gelehrten, welcher sich lange Zeit vorzugsweise mit den Untersuchungen über die Erscheinungen der Wärme beschäftigt, die allgemeinen Gesetze ihres Verhaltens aufgesucht, unter gewisse Formeln gebracht, und dabei viele Beweise einer ungewöhnlichen Fertigkeit im analytischen Calcüle gegeben hat[1]. Nach ihm wurde die Erde von einer Hitze, welche die des weifsglühenden Eisens noch wohl um vieles übertraf, in einen tief unter dem Eispuncte kalten Raum versetzt, und erkaltete in diesem viele Jahrhunderte hindurch allmälig, bis sie in den gegenwärtigen stationären Zustand gekommen ist[2]. Nach seinen analytischen Untersuchungen ist es leicht erweislich, dafs das Erkalten der Erde wegen der Gröfse der Masse nur langsam erfolgen konnte, und so gut wie jetzt die Wirkung der Sonnenstrahlen die äufsere Kruste nicht durchdringt, kann auch die innere Wärme nicht nach Aufsen kommen. Aus den Beobachtungen folgert Fourier eine Zunahme der Wärme von 1° C. für eine Tiefe von etwa 30 Met., welche dem Einflusse der Sonnenstrahlen nicht beizumessen ist, sondern von der ursprünglichen Glühhitze der Masse herrührt. Gegenwärtig schreitet ihre Wärmeabnahme so langsam fort, dafs sie in 30,000 Jahren noch nicht um die Hälfte ihrer mittleren Wärme abnehmen kann, und die Verminderung daher seit der Schule von Alexandrien bis jetzt noch nicht $\frac{1}{300}$stel Grad C. beträgt. Obgleich ferner die mit der Tiefe zunehmende höhere Temperatur mit der Theorie genau übereinstimmt, so folgt nach Fourier doch nicht, dafs die Erde im Centro ihr Maximum der Wärme habe, vielmehr nimmt sie wieder ab, nachdem sie in der Tiefe von etlichen Myriametern den Punct der Weifsglühhitze erreicht hat. Die innere Erdwärme ändert sich stets,

---

1 Sein Hauptwerk ist Théorie analytique de la Chaleur. À Paris 1824. 4. An dieses schliefsen sich die verschiedenen späteren Abhandlungen an.

2 Extrait d'un Mém. sur le Refroidissement séculaire du Globe terrestre; in Ann. Ch. et Ph. XIII. 418.

obgleich in sehr langen Zeiträumen, und ohne dafs hieraus eine Veränderung der Klimate folgt, weil die Oberfläche einmal in den Zustand der Stabilität gekommen ist. Aus seinen Berechnungen folgert Fourier übrigens, dafs die aus dem Innern der Erde während eines Jahrhunderts dringende Wärme so viel beträgt, als einen Eiscylinder von der Basis der gegebenen Fläche und 3 Metres Höhe zu schmelzen vermag[1].

Läfst man sich durch den tiefgelehrten Calcül, in welchen Fourier die hier mitgetheilten Sätze verwebt, und aus welchem er sie gleichsam als Folgerungen ableitet, nicht blenden, so gelangt man bald zu der Ueberzeugung, dafs hier weit mehr behauptet wird, als die Prämissen zu folgern gestatten. Fourier hat sich zwar das grofse Verdienst erworben, die Verbreitung der Wärme in Körpern von verschiedener Gestalt, desgleichen die Ausströmung derselben aus diesen mit Rücksicht auf die Beschaffenheit ihrer Oberfläche auf bestimmte Gesetze zurückzubringen, welche zum Theil auf gleiche Resultate führen als diejenigen sind, welche Newton und die Physiker nach ihm auf einem weit einfacheren Wege erhielten, allein hieraus folgt keineswegs, dafs man diesemnach von einem gegebenen Körper, z. B. der Erde, wissen könne ob sie früher eine höhere Temperatur gehabt habe, und wie grofs diese gewesen sey. Wäre dieses Letztere auf einem anderen Wege gefunden, liefse sich namentlich nachweisen, dafs die Erde ursprünglich die Glühhitze gehabt habe, dann liefse sich aus den aufgefundenen Gesetzen allerdings bestimmen, wie viele Jahre erfordert wurden, bis sie die jetzige Temperatur ihrer Oberfläche erhielt, obgleich der Geologe auch hiergegen noch manche gegründete Zweifel erheben würde. Namentlich kann die nicht unbeträchtliche Wassermenge der Erde den Zustand der Glühhitze der festen Theile unmöglich getheilt haben, und dann bleibt sowohl die ursprüngliche Quantität dieses Wassers als auch seine Temperatur durchaus ungewifs, und würde der Versuch einer genauen Berechnung der Erkaltungszeit auf allen Fall eine grofse Menge willkürlicher Hypothesen erfordern. Fourier nimmt an, dafs die Wärme in einer Tiefe von 30 Meters um 1° C.

---

1 Diese Resultate aus einer ausführlichen Abhandlung findet man zusammengestellt in Ann. Ch. et Ph. XXVII. 136 ff.

wachse[1]. Allein die mitgetheilten Beobachtungen ergeben, daſs diese Bestimmung nur eine genäherte ist. Es ist ferner nichts weiter als Hypothese, wenn man annimmt, daſs die Wärme in diesem Verhältniſs nach Innen stets zunehme, woraus dann folgen würde, daſs, den Schmelzpunct des Guſseisens[2] zu 1532° R. oder lieber zu 1600° R. also zu 2000° C. angenommen, die Erde in einer Tiefe von 60000 Meters oder 184706 F. oder 48,5 geographischen Meilen schon diese Hitze habe. Aus den oben erwähnten Beobachtungen v. TREBRA's soll dieser Punct in einer Tiefe von 52 Meilen liegen, wahrscheinlich weil dieser der Schmelzpunct des Eisens nach älteren Angaben höher setzt. Gegen die Möglichkeit einer solchen Hitze ist zwar nichts einzuwenden, die Voraussetzung einer vom Puncte der gröſsten Hitze nach dem Centrum hin wieder abnehmenden Wärme ist dagegen bloſs hypothetisch, und darf daher vorläufig ganz unbeachtet bleiben. Das Endresultat aller mühsamen Untersuchungen ist daher kein anderes, als daſs wir die Temperatur des Erdkernes keineswegs mit Zuversicht kennen, wohl aber aus Wahrscheinlichkeitsgründen sie als sehr hoch und der Glühhitze des schmelzenden Eisens gleichkommend oder sie noch übertreffend annehmen, jedoch kann sie nicht so groſs seyn, um die Bestandtheile der Erde in Dampfform zu erhalten. Dagegen ist LA PLACE durch seine scharfsinnigen Untersuchungen zu einem höchst schätzbaren Resultate gelangt. Weil nämlich eine Vermehrung oder Verminderung der mittleren Erdwärme nothwendig eine Veränderung ihres Volumens, und somit auch ihrer Rotation herbeiführen würde, welche aber nicht beobachtet ist, so läſst sich hiernach mit Sicherheit schlieſsen, daſs diese mittlere Temperatur gegenwärtig stationär seyn muſs. Der Berechnung nach würde nämlich eine Verminderung der mittleren Erdwärme von nur 1° C. eine Verminderung der Rotation von zwei Centesimalsecunden herbeiführen. Indem letztere aber seit HIPPARCH's Zeiten noch um kein 0,01 Sec. verändert ist, so kann die mittlere Erdwärme gleichfalls keine Veränderung erlitten haben[3].

---

1 Nach La Place Méc. Cél. V. 19. gehört diese Differenz zu 32 Meters.

2 Journ. of Sc. XXII. 309.

3 Ann. Chim. et Ph. XI. 36. Vergl. XIII. 410. XIV. 315. Méc.

B. Temperatur der Erdrinde.

Die Wärme der Erdrinde wird bedingt durch den *Einfluſs der Sonnenstrahlen*, der *unteren Schichten* und *der Luft*. Ist daher, wie es hier billig seyn muſs, die Rede bloſs von einer so dicken Schicht, als wohin diese Einflüsse dringen, so folgt von selbst, daſs der äuſsere Theil derselben einem jährlichen, monatlichen und täglichen Wechsel ausgesetzt seyn muſs, während der innere mehr constant bleibt. Einen bedeutenden Einfluſs hat insbesondere das Regen- und Schneewasser, welches in Tiefen von 3 bis 6 Fuſs einen gröſseren und schnelleren Wechsel hervorbringt, als die Strahlen der Sonne. Indem aber das wärmere Wasser der Sommerregen, oft noch erwärmt durch die Hitze des Bodens, mit dem Schneewasser des Winters gemischt herabsinkt, so erhält die Erdrinde etwa 20 bis 30 F. unter der Oberfläche eine der mittleren des Ortes gleichkommende unveränderliche Wärme, welche eben deswegen aus tieferen Quellen gefunden werden kann. Diese Unveränderlichkeit der Temperatur fand man zuerst durch Beobachtungen im Keller unter der Sternwarte in Paris, und Martine[1] schrieb daher der Erde eine eigene Wärme zu, unabhängig, von der durch die Sonnenstrahlen erzeugten. Mairan[2] war gleicher Meinung, und suchte durch Versuche und Rechnungen zu beweisen, daſs von den 1026° R. Wärme, welche in Paris in einem Sommer erzeugt würden, 991°,98 von der Erde und nur 34,02 durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht würden. J. Hunter[3] dagegen folgerte aus der constanten, durch den Einfluſs der nahen Oberfläche modificirten Temperatur der Quellen auf Jamaica, daſs die Temperatur der Erde im Ganzen das durch Wärmeleitung bedingte Mittel zwischen der im Sommer erzeugten Hitze und der Kälte des Winters sey.

Wenn wir zuvor von einzelnen örtlichen Ausnahmen abstrahiren, wodurch die mittlere Temperatur der verschiedenen Oerter zuweilen modificirt wird, so läſst sich nach zahlreichen Beobachtungen allerdings die Behauptung aufstellen, daſs in

---

cel. V. p. 18. ausführlich p. 72 ff. Con. des Temps. 1822. Bibl. univ. XII. 156. Journ. de Ph. XC. 403.

1 Medical and philosophical essays. 1740. 8. p. 319.

2 Mém. de Par. 1719 und 1765.

3 Phil. Trans. LXXVIII. 53.

Tiefen von 20 bis 40 F. unter der Oberfläche der Erde eine stets gleichbleibende, weder mit den Jahres- noch Tages-Zeiten wechselnde Temperatur herrscht, welche der mittleren der Oerter sehr nahe gleich ist. Am vollständigsten geht dieses aus den lange fortgesetzten Beobachtungen eines Thermometers hervor, welches in dem Gewölbe unter der Sternwarte in Paris 86 F. unter der Erdoberfläche und 136 F. über dem Meeresspiegel aufgehangen, und seit 1671 bis auf die neuesten Zeiten beobachtet ist [1]. Cassini's Beobachtungen ergaben 9°,585 R. für den Winter und 9°,565 für den Sommer [2], also nur einen Unterschied von 0°,02. Bouvard [3] erhielt 1808 etwas mehr, nämlich 9°,638, woraus man auf eine Vermehrung der Temperatur schliefsen könnte, allein der Unterschied ist zu unbedeutend, und vermuthlich eine Folge der Graduirung des Thermometers, dessen Scale 1817 durch Arago berichtigt ist, und 11°,7 C. als bleibende mittlere Temperatur zeigt [4], denn 1824 war dieselbe genau gemessen 11°,747 C. und die Veränderung betrug nicht mehr als 0°,03. De Saussure [5] fand in der Grotte von Balan unweit Genf 160 F. weit vom Eingange 7°,5 R., in einer andern 9°,5 R. Bei Thermometern, welche er in die Erde senkte, fand er die Differenzen stets mehr abnehmend, je tiefer sie standen, und zuletzt fast verschwindend [6]. Ein in Genf in einem Brunnen von 11 Metres Tiefe gesenktes Thermometer zeigte [7] von 1796 bis 1805 als Maximum 9°,9 im December 1804 und 7°,3 R. im Juni 1798. Die Commission des Arts fand im Josephsbrunnen, welcher in der Citadelle von Cairo 200 F. tief ausgegraben ist, eine beständige Temperatur von 22°5 C. und viele ähnliche Resultate geben die Beobachtungen v. Humboldt's, Hamilton's [8] u. a. Ich selbst habe seit 1820 zu andern Zwecken drei Thermometer in 1,5; 3 und 5 F.

---

1 Die ältesten Beobachtungen sind nach der genaueren Bestimmung der neueren Thermometerscalen auf diese reducirt.

2 Mém. de l'Ac. 1786. p. 511. J. de Ph. XXXV. 190.

3 J. d. Ph. LXVI. 407.

4 Ann. Ch. et Ph. 1817, Dec. Ebend. XXVII. 370. Vergl. de la Metherie Théorie de la Terre. III. 357.

5 Voyages dans les Alpes. 1780—86. IV. T. 8. I. 178 u. 324.

6 Ebend. III. 223.

7 Journ. de Ph. LXVIII. 224.

8 Bibl. Brit. VIII. 386.

Tiefe in die Erde gesenkt, und vermittelst derselben gleichfalls den Satz bestätigt gefunden, daſs die Veränderungen in den Temperaturen der Erdrinde den Tiefen umgekehrt proportional sind.

Als Resultate aus den verschiedenen thermometrischen Messungen der Temperatur der Erdrinde, geht also Folgendes hervor.

1. Die Einflüsse der täglichen Veränderungen der äuſseren Wärme reichen bis 1,5 F. der Erdrinde und verschwinden bei 3 F. Tiefe [1], indem das eine der von mir beobachteten Thermometer in der letzteren Tiefe die stärksten Einflüsse erhöhter oder verminderter Wärme, z. B. durch die Sonnenstrahlen oder den Regen, selten schon am zweiten, meistens erst am dritten Tage oder später bemerkbar machte.

2. Die monatlichen Einflüsse fangen an zu verschwinden bei 5 F. Tiefe. Das längste meiner Thermometer wurde nämlich durch die Aenderungen der äuſseren Temperatur in der Regel erst einen halben oder einen ganzen Monat später afficirt. Es fiel z. B. das Maximum der Sommerwärme bei dem 1,5 F. tiefen Thermometer im Jahre 1821 auf den 26. Aug., bei dem in 5 F. Tiefe auf den 7. Sept.; im Jahre 1822 bei jenem auf den 9ten Juni, bei diesem auf den 10. Juli, im Jahre 1823 bei jenem auf den 31. Aug. bei diesem auf den 7. Sept.; im Jahre 1824 bei jenem auf den 15. Juli, bei diesem auf den 13. Aug.; im Jahre 1826 bei jenem auf den 5. Juli, bei diesem auf den 30. August. Dagegen fielen die Minima 1821 auf den 2. Jan. und 21. Febr.; 1822 auf den 14. Jan. und den 1. Febr.; 1823 auf den 14. Jan. und den 9. Febr.; 1824 auf den 19. Jan. und den 4. Febr. Diejenigen Thermometer, welche Maurice [2] von der Oberfläche bis zu 3 F. Tiefe in die Erde gesenkt hatte, waren hiernach nicht tief genug, um gehörige Resultate zu geben.

3. Das Verschwinden der jährlichen Veränderungen vom Maximo im Sommer bis zum Minimo im Winter läſst sich daher etwa zu $\frac{12}{2} \times 5$ F. $=$ 30 F. annehmen. Hiermit stimmen de Saussure's [3] Erfahrungen überein, welcher Thermometer

1 Fourier Théorie de la Chaleur. p. V. setzt diese Grenze auf ohngefähr 3 Met.

2 Bibl. Brit. VIII. 343.

3 Voy. III. §. 1418.

in ein tiefes Loch senkte, und in einer Tiefe von 29,5 F. nur 1° R. Veränderung beobachtete.

4. Der vorstehende Satz ist jedoch nur dann richtig, wenn jeder Zugang nach Aufsen abgeschnitten, und der Boden etwas fest ist. Bei lockerem Erdreiche, in welchem das Wasser leichter und tiefer eindringt, kann dieser Punct so nahe nicht liegen, und ich glaube vielmehr, dafs die Grenze der gleichbleibenden Temperatur der Erdrinde allgemein nicht höher als etwa in 60 F. Tiefe gesetzt werden kann.

Die Temperatur der äufseren Erdrinde kann aus begreiflichen Gründen am leichtesten erkannt werden aus der Wärme von Quellen, welche aus gröfserer Tiefe entspringen, indem diese dem äufseren Wechsel der Temperatur nicht unterworfen sind, und unverändert eine der mittleren des Ortes sehr nahe gleich kommende Wärme haben. Wenn sich bei denselben eine Veränderung zeigt, so besteht sie darin, dafs sie im Winter etwas wärmer sind als im Sommer, weil sie zu jener Zeit mehr das Regenwasser der heifsen Monate, zu dieser das Schneewasser der kalten wiedergeben, der geringe Unterschied beurkundet indefs genugsam, dafs die Erdschicht, woraus sie entspringen, eine unveränderliche Temperatur hat, welche nach vielfachen Untersuchungen von der mittleren des Ortes nur wenig verschieden ist. Roebuck kam daher schon auf die Idee, die Wärme der Erde und zugleich die mittlere des jedesmaligen Ortes aus den Quellen zu messen, indem er die letztere für London = 52°,16 F. für Edinburg = 47,7 die ersteren dagegen 51°,02 und 47° F. fand, ohne dafs man die Sache weiter beachtete [1]. Auf Cavendish's Antrag mafs indefs zur Prüfung dieser Behauptung J. Hunter [2] die Wärme der Quellen auf Jamaica, und fand sie mit der mittleren jenes Ortes übereinstimmend = 80° F. Seitdem haben insbesondere v. Humboldt, dann Wahlenberg, L. v. Buch, Tralles, früher schon Beguelin u. a. die Sache vielfach bestätigt. A. v. Humboldt [3] hat die Berichtigung hinzugefügt, dafs in niederen

---

1 Phil. Trans. 1775. p. 459.

2 Ebend. 1788.

3 Reisen u. s. w. deutsche Ueb. Tüb. 1818. II. 130. J. de Ph. LXVI. 425. D'Aubuisson Traité de Geognos. I. 427.

Breiten die Quellen eine etwas geringere, in höheren eine etwas gröfsere Wärme zeigen, als die mittlere der Oerter. So fand er zu Cumanacao die mittlere Temperatur der Luft = 25 bis 26° C., die der Quellen = 22°,5; zu Cuba jene = 25° C., diese nach der Angabe in tiefen Grotten = 22 bis 23°. Wahlenberg hat viele Untersuchungen angestellt, um die mittlere Temperatur der Oerter aus der Wärme tiefer Quellen zu finden [1], erhielt aber unter andern mit L. v. Buch [2] auf dem Gotthard, wo die mittlere Temperatur = 0 ist, die der Quellen = 3° C.

Inzwischen hat dieses Mittel zur Bestimmung der mittleren Temperatur der Oerter und der unveränderlichen Wärme der äufseren Erdrinde, welches man als ein untrügliches anzusehen geneigt war, neuerdings durch einige genaue Untersuchungen von seinem Ansehen etwas verloren. Nach Erman [3] erhielt Wahlenberg aus dem Louisenbrunnen bei Berlin im Mittel 7°,68. R., er selbst dagegen 7°,59. Aus anderen länger beobachteten Quellen fand Erman 8°,033 oder 8°,066. Aus den Beobachtungen eines Thermometers im Schatten fand Beguelin 7°,787, v. Humboldt 6,8 oder 6,4 und Tralles mit grofser Sorgfalt 6°,4, welche Gröfsen bedeutend abweichen. Erman kam daher auf die Vermuthung, die chemischen Zersetzungen machten die Quellen wärmer, die Auflösungen von Salzen kälter, wogegen aber die Temperatur der Salzquellen streitet, welche höher ist, als die mittlere der Oerter, und um so höher, je reicher die Quellen sind. Auch Merian [4] untersuchte sorgfältig 8 Quellen, welche meistens in Basel selbst und aus ungleichen Tiefen entspringen. Die tiefern änderten allerdings das ganze Jahr hindurch ihre Temperatur nicht, die flacheren wechselten mit den Monaten. Die mittlere Temperatur aller differirte im ganzen Jahre von 8°,6 C. bis 10°,1, und das allgemeine Mittel aus allen war 9°,5 C. oder mit Ausschlufs der minder sicheren 8°,6. Uebrigens schliefst er aus seinen Beobachtungen, dafs die flacheren, anhaltend und oft beobachtet, die mittlere Temperatur des Ortes am sichersten geben.

---

1 G. LI. 115.

2 D'Aubuisson a. a. O.

3 Berlin. Denksch. 1818 S. 377.

4 Abhandlung über die Wärme der Erde in Basel. Bas. 1823. 4.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergiebt sich als Endresultat, daſs zwar die Bestimmung der Temperatur der äuſseren Erdrinde keineswegs so ganz unsicher ist, als die des Erdkernes, dennoch aber gar manchen Schwierigkeiten unterliegt, wenn man vollkommene Genauigkeit verlangt. Eben dieses haben auch schon andere Physiker gefunden [1]. Sie aus der Temperatur der Höhlen, der Schachte oder tiefer Keller zu finden, ist wegen mancher äuſseren Einflüsse, namentlich der Luftströmungen etwas unsicher. So fand v. Humboldt in den Minen der Andes südlich vom Aequator in einer Höhe von 3700 Met. 13°,7 bis 14°,2 C. bei einer äuſseren Temperatur von — 2°,5 und + 8°, in Micuipampa in einem Bergwerke Peru's auf 1000 Met. Höhe 18°,7; in den Kalkhöhlen von Cuba 22°,5. Die Untersuchung der Quellen läſst gleichfalls einige Ungewiſsheit zurück. v. Humboldt fand in der Provinz Caraccas und in den Ebenen von Rom die Quellen stets 4 bis 5° kälter als die mittlere Temperatur der Oerter, und hiernach bleibt also fraglich, nach welchem Gesetze die gefundenen Gröſsen jederzeit corrigirt werden müssen.

Das beste Mittel zur Bestimmung der mittleren Temperatur scheint mir die Beobachtung von Thermometern, welche ungleich tief in die Erde gesenkt sind. Die oben erwähnten, von mir seit einigen Jahren beobachteten, in 1,5; 3 und 5 F. Tiefe befindlichen [2], wovon ich das tiefste durch A und die folgenden durch B und C bezeichnen will, gaben im Mittel aus ganz jährlichen Beobachtungen in Graden nach R.

1822	A = 9°,81;	B = 10°,17;	C = 9°,98
1823	A = 8,27;	B = 8,46;	C = 8,20

Man ersieht schon aus diesen wenigen Resultaten, daſs erstlich die warmen Jahre eine weit gröſsere Wärme geben als die kälteren, und die einzelnen Beobachtungen der Quellen daher kein genaues Resultat versprechen. Zweitens sind zwar die Temperaturen der äuſsersten Erdrinde und der nur 5 Fuſs tiefen Schicht im Mittel eines ganzen Jahres einander gleich, allein bei warmen Jahren erhält doch die obere Kruste in 1,5 F. eine gröſsere Wärmemenge, als die in 5 F. tief befindliche, woraus

1 v. Humboldt a. a. O.

2 Eine nähere Beschreibung derselben und der damit erhaltenen Resultate s. *Temperatur.* Daselbst werde ich mich auch über die Differenz des mittleren Thermometers erklären.

folgt, dafs die jährlichen Veränderungen selbst in dieser geringen Tiefe schon eine Modification erleiden.

C. Temperatur der Erdoberfläche.

Die Temperatur der Erdoberfläche fällt mit der Wärme der äufseren, die Erde zunächst berührenden, Luftschicht nahe zusammen, steigt und fällt mit dieser, wechselt mit den Tags- und Jahres-Zeiten, und wird in der Regel nicht selbst gemessen, sondern aus Beobachtungen der im Schatten aufgehangenen Thermometer bestimmt. Um aber von diesen weitläuftigen Untersuchungen dasjenige zu scheiden, was nicht unmittelbar zur Sache gehört, also die Wärme der Erdrinde nicht unmittelbar betrifft, bemerke ich, dafs die Regeln und Methoden, die sogenannte mittlere Temperatur der Tage und Jahre, die Maxima und Minima, die Bedingungen des Wechsels gröfserer und geringerer Hitze und Kälte, die Extreme beider sammt den verschiedenen bedingenden Ursachen hiervon und alles dahin Gehörige unter dem Artikel *Temperatur* abgehandelt werden wird. Was also hier als Temperatur der Erdoberfläche zur Untersuchung kommt, ist im Wesentlichen Folgendes.

1. Da die Temperatur der Erdoberfläche im Allgemeinen von der Einwirkung der Sonnenstrahlen abhängt, so ist die Wärme der Erdrinde in der Regel bedeutend gröfser, als die der darauf ruhenden Luftschicht, weil in dem dichteren Körper weit mehr Wärme entbunden wird, als in der dünneren Luft. Hieraus erklärt sich die oft brennende Hitze in den Wüsten, insbesondere wenn sie mit tiefem Sande bedeckt sind, und der Feuchtigkeit ermangeln [1]. Ohne die directe Einwirkung der Sonnenstrahlen ist der Unterschied minder bedeutend, und im Ganzen darf man beiden, sowohl der Erdoberfläche als auch der sie berührenden Luftschicht die nämliche mittlere Temperatur beilegen. Wahlenberg [2] stellt die Regel auf, dafs die mittlere Temperatur der Luft unter 46° N. B. mit der mittleren des Bodens zusammen fällt, von hieran aber nach Norden hin schneller, nach Süden langsamer abnimmt, allein dieses pafst zwar wohl auf Norwegen und Schweden, keineswegs aber allgemein, wie die folgenden Untersuchungen zeigen.

---

1 Vergl. *Temperatur.*

2 De vegetatione et climate in Helvetia p. LXXXIV.

2. Wenn man hiernach die Wärme als allein durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen erzeugt annimmt, so folgt, daſs die Menge der auf eine gegebene Fläche fallenden Strahlen sowohl, als auch der senkrechte Stoſs derselben dem Sinus der Sonnenhöhen proportional sind, ihre gemeinschaftliche Wirkung muſs also mit dem Quadrate dieser Sinusse abnehmen, und da diese zugleich mit den Graden der Breite zusammenfallen, so stellte T. Mayer [1] die allgemeine Formel für die mittleren Temperaturen der Erde auf, wonach

$$y = m - n \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

seyn soll. Hierbei käme es auf die Bestimmung der Coëfficienten an, allein die Erfahrung zeigt, daſs die Formel auf keine Weise allgemein gültige Resultate giebt. Wird $m = n = 24°$ R gesetzt, so ist $y = m \text{ Cos.}^2 \text{ lat.}$, wonach für die verschiedenen Breiten und mit Rücksicht auf die wechselnden Sonnenhöhen folgende Werthe für die nördliche Halbkugel erhalten werden [2], welche durch Vertauschung des Standes der Sonne im Zeichen des Krebses und Steinbocks leicht auf die südliche Hemisphäre übertragen werden können.

Breiten	Stand der Sonne.		
	Krebs	Steinbock	Widder und Waage.
0°	20°,4	20°,4	24°,0
10	22,5	16,5	22,8
20	23,5	12,4	20,6
30	23,5	8,4	17,7
40	21,6	4,3	13,9
50	18,9	1,9	9,6
60	15,3	0,24	8,0
70	11,3	0,07	2,6
80	7,2	— 1,0	0,7
90	3,6	— 3,6	0,0

Lichtenberg findet zwar, daſs die hiernach erhaltene Bestimmungen mit denen übereinkommen, welche die Erfahrung giebt, allein indem er sich hierbei auf Cotte [3] bezieht, so sieht man bald, daſs nur ein geringer Theil der nördlichen Halbku-

1 Opera inedita ed. G. C. Lichtenberg Gött. 1775. I. 4.

2 Vergl. G. G. Schmidt Naturl. p. 613.

3 Traité de Météorologie Par. 1774. 4.

gel berücksichtigt ist. Uebrigens haben schon HALLEY[1], MAIRAN[2], WOLF[3], L. EULER[4] und insbesondere LAMBERT[5] diesen Gegenstand weitläuftig behandelt, die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen theoretisch zu bestimmen gesucht, dabei auf die Länge der Tage und Nächte, die Höhe der Sonne und auch die Entfernung derselben Rücksicht genommen, allein da die Resultate mit der Erfahrung dennoch unvereinbar bleiben, so übergehe ich eine weitere Mittheilung ihrer Darstellungen. Andere beziehen sich mehr auf die Beobachtungen, z. B KIRWAN[6], welcher 24° R. als mittlere Wärme unter dem Aequator annimmt, und hiernach folgende Werthe findet

Grade N. B.		Mit Rücksicht a. Local.	Ohne Rücksicht a. Local
59° 56′	*Petersburg*	3°,0	5°,7
59 20	*Stockholm*	4,4	5,0
52 31	*Berlin*	7,5	8,4
51 31	*London*	8,4	8,8
48 50	*Paris*	8,8	9,7
48 12	*Wien*	8,4	9,8
44 50	*Bourdeaux*	11,3	11,5
43 17	*Marseille*	12,9	12,0
15 20	*Manilla*	20,4	21,3
36 49	*Algier*	17,7	14,6
11 20	*Pondichery*	24,8	22,2
0 30	S. B. *Quito*	13,3	23,1

Zur Vergleichung dieser Angaben kann der Kürze wegen füglich die unten folgende Uebersicht dienen.

Unter die gehaltreichsten Untersuchungen über diesen Gegenstand gehören ohne Widerstreit die von D' AUBUISSON DE VOISINS[7]. Dieser gründet auf einige genaue Beobachtungen die Formeln

$$T' = T \text{ Cos.}^{2,25} \text{lat. und } T' = T \text{ Cos.}^{2} \text{ lat.}$$

1 Phil. Tr. Nro. 23. Art. 9.

2 Mém. de l'Ac. 1719. p. 104. 1765. p. 143.

3 Abhandlung vom kalten Winter 1709. in Thümmigii Meletemata varii et rarioris argumenti. Lips. 1726.

4 Comm. Ac. Pet. 1739. T. IX.

5 Pyrometrie. Berl. 1779. 4. p. 305.

6 Angabe von der Temperatur von den verschiedenen Breiten der verschiedenen Länder und Städte, Uebers. von Crell. Berlin 1788. 8.

7 Traité de Geognosie. I. 428.

hält die erstere A für die genaueste, die zweite B für hinlänglich, um die Temperaturen in genäherten Werthen zu erhalten, und findet hiernach folgende Gröfsen in Graden der Centesimalscale[1]:

Beob. Oerter.	Breiten	Beob.	Temperaturen berechnet nach A	Temperaturen berechnet nach B.
Cairo	30° 2′	22,5	21,7	20,3
Paris	48 50	11,7	11,7	11,7
London	51 29	10,8	10,3	10,5
Cork	51 54	10,6	10,0	10,3
Dublin	53 20	9 6	9,3	9,6
Eniscoo	54 48	9,3	8,6	9,0
Bellycastle	55 12	8,9	8,5	8,8
Stockholm	59 20	7,5	6,7	7,1
Torneö	65 51	3,0	3,9	4,5
Wadsoë	70 20	2,2	2,5	3,0

Die Uebereinstimmung der Beobachtungen, wovon die englischen von HAMILTON[2], die schwedischen von HELLANT[3] sind, und für sehr genau gelten können, ist allerdings überraschend, allein die Sache verliert an Gewicht, sobald man berücksichtigt, dafs die Oerter sämmtlich nahe genau unter den Meridianen von Paris und Berlin liegen, Beobachtungen unter andern Meridianen aber ganz abweichende Resultate geben. D'AUBUISSON gesteht dieses selbst, und setzt noch hinzu, dafs die Differenzen noch gröfser werden, wenn man die Temperaturen nicht nach den Quellen mifst, wie hier geschehen ist, sondern aus Thermometerbeobachtungen im Schatten erhält, wie folgende Uebersicht zeigt:

---

1 In einem früheren, schon 1806 gedruckten Aufsatze nahm er für die Constante T die Temperatur im Gewölbe der Pariser Sternwarte = 12° C. und fand hiernach $T' = 31^\circ \text{ Cos.}^{2,25} \text{ lat.}$ und $T' = 28^\circ \text{ Cos.}^{2} \text{ lat.}$

2 Bibl. Brit. VIII.

3 Stockholmer Denksch. 1753.

Oerter	Breiten	Temperaturen		
		beob.	berechn.	Diff.
Cumana	10° 27′	27°,7	26°,1	— 1,6
Neapel	40 50	17 ,4	15 ,4	— 2,0
Rom	41 53	15 ,7	15 ,0	— 0,7
Toulouse	43 36	14 ,5	14 ,7	+ 0,02
Bourdeaux	44 50	13 ,6	13 ,6	+ 0,0
Paris	48 50	11 ,0	11 ,7	+ 0,7
London	52 30	10 ,3	10 ,5	+ 0,2
Coppenhagen	55 41	7 ,7	8 ,6	+ 0,9
Stockholm	59 20	5 ,7	7 ,0	+ 1,3
Nord-Cap.	71 30	0 ,1	2 ,7	+ 2,6

Die anfangs blofs negativen, nachher blofs positiven Differenzen zeigen genugsam, dafs die Formel den Beobachtungen nicht Genüge leistet, jedoch liefse sich für diese leicht eine finden, da die Differenzen regelmäfsig wachsen, wenn man hoffen könnte, hierdurch auch für die mittleren Temperaturen unter anderen Meridianen eine geeignete Formel zu erhalten. Aufser dem aber giebt die Formel die mittlere Temperatur unter dem Pole = 0, welches auf allen Fall viel zu hoch ist. Das Einzige, was scih also nach D'Aubuisson aus diesen Untersuchungen folgern läfst, ist, dafs für niedere und mittlere Breiten nicht weit über dem Meeresspiegel auf dem Lande und nahe genau auch über der Oberfläche des Meeres die mittlere Wärme der Oerter in genähertem Werthe durch die Formel $T' = 27°$ Cos.^{2} lat. ausgedrückt wird, wonach also vom 30sten bis 60sten Grade der Breite unter den angegebenen Bedingungen die mittlere Wärme der Oerter für jeden Grad der Breite um 0,5 C. abnimmt. Hierbei ist indefs blofs von der mittleren ganz jährlichen Temperatur die Rede, nicht aber von den Extremen, indem in dieser Hinsicht das Meer z. B. sich ganz anders verhält, als das feste Land. Die Angabe stimmt übrigens sehr nahe mit derjenigen überein, welche Hamilton[1] aus seinen Beobachtungen in tiefen Kellern, desgleichen der Brunnen und Quellen für Irland folgert, wonach sich die mittlere Temperatur für jeden Breitengrad um 1° F. ändern soll. Dafs beide Bestimmungen nicht allgemein seyn können, ergiebt sich von selbst.

3. Es ist seit langer Zeit bekannt, dafs die nördliche Halbkugel, wenigstens dafs die Meere derselben, ungleich wärmer sind, als die der südlichen Halbkugel. Vor allen Din-

1 Bibl. Brit. VIII. 336.

gen zeigt sich ein merkwürdiger Unterschied, wenn man das Eismeer bei Spitzbergen mit den südlichen Meeren vergleicht. Obgleich nämlich manche Nachrichten von den Höhen, bis wohin Schiffe im nördlichen Polarmeere gekommen seyn sollen, nicht zuverlässig sind[1], so ist es doch gewifs, dafs der rühmlichst bekannte SCORESBY einigemale über den 81. Grad N. B. hinausgekommen ist, und einmal 81° 30′ wirklich erreicht hat[2]. Das Schiffen bis zum 80. Grade der Breite in jenem Eismeere gehört aufserdem zu den gemeinen Erscheinungen. Ganz anders aber verhält es sich auf der südlichen Halbkugel. Nach COOK stand am 5ten Dec. 1772 in 47° 10′ S. B. das Thermometer auf 2°,6 R. und in 49° 45′ fand er ein Stück Treibeis, dessen Gröfse er auf 1000 Mil. Cub. F. angiebt. In 51° hatte er am 10ten Dec. 1°,7 R. Wärme am Thermometer, und unter 53° S. B., also etwa der Breite von Amsterdam traf er Frost, Eis und Schneegestöber. Am 17ten Jan. 1773 konnte er unter 67° 15′ wegen Treibeis nicht weiter kommen. Im Jahre 1774 traf er am 20sten Jan. unter 62° S. B. Eisinseln, passirte den 28sten Jan. als er Tag ohne Nacht hatte, zwischen Eisbergen den südlichen Polarkreis, und konnte am 30sten desselben Monates unter 71° 10′ vor Eise nicht weiter kommen. Im Jahre 1775 konnte er um dieselbe Zeit nicht weiter als bis zum 60° S. B. verdrängen. BELLINGHAUSEN fand in Neu-Georgien unter 54° S. B. im Monat December alles mit Schnee bedeckt und die Buchten voll Eis, drang bis 69° 30′ S. B. vor, konnte aber des undurchdringlichen Eises wegen nicht südlicher kommen[3]. Die höchste südliche Breite hat bisher WEDDEL am 20sten Febr. 1823 erreicht, nämlich 74° 15′, und wenn seine Angabe gegründet ist, so mufs man sich allerdings wundern, dafs er dort das Meer, so weit das Auge reichte, ganz frei von Eise fand[4]. Hiernach geht also das Eis, welches die Pole um-

1 S. unten Absch. VII.

2 An Account of the Arctic Regions with a History and Description of the Northern Whale-Fishery. In two Vol. 8. Edinb. 1820. I. 42. Es wird zwar oft, unter anderm in Corresp. Ast. XIV. N. 3 behauptet, TCHISCHAGOFF und SCORESBY seyen bis zum 84sten Grade gekommen, allein dem eigenen bestimmten Zeugnisse des Letzteren ist unstreitig mehr zu trauen.

3 Simonoff in Cor. Ast. a. a. O.

4 A Voyage towards the South-Pole in 1822 — 4. containing

giebt, am Nordpole bis zum 9ten, am Südpole bis zum 18ten Grade d. B., und auf der südlichen Halbkugel gelangen die ungeheuren Massen, welche sich hiervon trennen, bis zum 60sten, ja sogar bis zum 49sten Grade der Breite, welches mit der nördlichen Halbkugel verglichen eine Breite von Boulogne und Abbeville bezeichnet. Zugleich darf man nicht sagen, daſs dieses bloſs vom Meere gelte, denn das Feuerland jenseit der Magellanischen Meerenge unter 55° S. B. also mit Preuſsen correspondirend, ist mit ewigem Schnee bedeckt[1].

Inzwischen beginnt dieser Unterschied der Temperatur beider Halbkugeln erst in höheren Breiten, wie folgende Zusammenstellung der auf dem Meere beobachteten Wärme nach AL. v. HUMBOLDT[2] zeigt.

Breiten	Corresp. Monate.	Mittlere Temp. nach C. südl. Halbk.	nördl. Halbk.
0° bis 15°	December	28°,0	......
	Junius	......	28°,5
18°	October	......	26°,5
	April	27°,5	......
22° bis 26°	Januar	......	19°,3
	Julius	22°,5	......
—	September	......	20°,5
	März	20°,8	......
34°	December	......	15°,4
	Junius	13°,8	......
—	Februar	......	17°,0
	August	16°,8	......
43°	Julius	......	18°,2
	Januar	15°,2	......
48°	Junius	......	17°,7
	December	7°	......
58°	Julius	......	13°,5
	Januar.	6°,2	......

an examination of the antarctic sea to the 74. degree of Lat. cet. By Jam. Weddel. Lond. 1825. 8. Vergl. Edinb. Phil. Journ. N. XXIII. 149.

1 Vergl. Biot Ast. II. 278.

2 Reisen d. Ueb. I. 362.

Einen sehr merklichen Unterschied fand ferner Duperrey schon auf den Malwinen unter 51° 30′ S. B. Als mittlere Temperatur erhielt er in den 18 Tagen vor dem Sommersolstitium 9° C. statt dafs dieselbe Zeit für London 15°, also einen Unterschied von 6° giebt[1].

Welche Ursachen diesen Unterschied erzeugen mögen, hat man oft gefragt, und früherhin diese Erscheinungen mit andern Abweichungen der südlichen Halbkugel in Verbindung gebracht. Seitdem aber erwiesen ist, dafs die südliche Halbkugel eine gleiche Gröfse und Gestalt hat, als die nördliche, fällt dieses Letztere weg. Die wahrscheinlichen Ursachen liegen aber zuerst in dem fast um 8 Tage längeren Sommer der nördlichen Halbkugel, welcher Unterschied durch die gröfsere Sonnennähe im Winter, obgleich diese nahe genau 672000 Meilen beträgt, nicht aufgewogen wird[2]. Ein zweiter Grund liegt in der gröfseren Ländermasse der nördlichen Halbkugel, wodurch mehr Wärme entwickelt wird. Die Sonnenstrahlen werden nämlich vom Wasser mehr spiegelnd reflectirt oder dringen tiefer in dasselbe ein, ohne auf gleiche Weise Wärme zu erzeugen, als dieses über festem dunkleren Erdreiche der Fall ist. Einen dritten Grund möchte ich in die individuellen Meeresströmungen setzen, wovon sogleich ausführlicher die Rede seyn wird.

4. Die Beobachtungen bieten uns indefs rücksichtlich der Temperatur der verschiedenen Orte noch eben so grofse als unzweifelhafte Abweichungen von der Regel dar, welche sich im Wesentlichen auf folgende Sätze zurückbringen lassen. Wenn wir von den besonderen klimatischen Einflüssen und der Temperatur des Meeres abstrahiren, so haben Schottland mit seinen Inseln, insbesondere aber Norwegen, Lappland und Finnland eine weit gröfsere Wärme, als sie nach ihrer nördlichen Lage haben sollten, und unterscheiden sich hierdurch sehr auffallend vom nördlichen Sibirien und noch weit mehr vom nördlichen America. Wenn ich hierbei Schottland übergehe, dessen Wärme aus der Nähe des Meeres erklärlich ist, so erscheint Norwegen, Lappland und Finnland so viel auffallender. Man findet dort, namentlich in Mageroë, Kielvig, Hammerfest, Alten u. s. w. Stellen, wo im Sommer kurzes Gras wächst, und sich im Win-

1 Con. des Tems. 1828. p. 254.

2 Vergl. Lambert Pyrometrie. p. 310. §. 589.

ter unter dem Schnee erhält, so daſs es von den Fieldlappen unter demselben aufgesucht und als Futter für das Vieh benutzt wird. Solche Stellen liegen meistens unter Felsenabhängen, und das Gras auf denselben dient den Schafen, hauptsächlich aber den Rennthieren zur Nahrung. In guten Kellern friert es dort nie, statt daſs unter gleichen Breiten in Sibirien der Boden nie aufthauet oder nur wenige Fuſs durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen in den langen Tagen[1]. Diese, durch viele Zeugnisse bestätigte gröſsere Wärme jener Gegenden kommt nicht sowohl durch die Luft, als vielmehr vom Inneren des Bodens, indem andere Gegenden von Finnmarken, welche nicht durch eine günstige Lage klimatische Vorzüge haben, ganz die Rauheit ihrer nördlichen Breite empfinden. So erfror in Altengaard im unteren Theile von Finnmarken am 19ten Juli 1812 das Kartoffelnkraut, das Thermometer kommt nicht über 12°,5 C. und es friert selbst in Kellern, wenn sie nicht gut verwahrt sind[2].

Die groſse Kälte der Oerter in Sibirien, welche unter gleichen Parallelen liegen, als die genannten, ist zu bekannt, um noch besonders erwähnt zu werden, aber am meisten ist man in neueren Zeiten auf die unglaubliche Kälte im nördlichen Theile von America aufmerksam geworden. Wollte man von tiefer im Continente liegenden Oertern abstrahiren, so bleibt es doch sehr auffallend, daſs die Temperatur der östlichen Küste von America ungleich geringer ist, als der westlichen von Europa, und weit mehr der östlichen von Asien gleicht[3]. Obgleich von dem nämlichen Meere bespült, wird die Hudson's-Bay und Hudson's-Straſse im Mittel unter 60° N. B., also unter dem Parallel des noch immer milden Bergen nie von Eise frei, und die Küsten dort, wenigstens die nördlichen, sind für Europäer unbewohnbar. Der Unterschied beginnt schon in mittleren Breiten, und ist so viel auffallender, da die Rauheit des Klima's, oder mindestens die Kälte einzelner Winter selbst die Ostküste von Asien unter gleichem Parallele übertrifft, wovon einige Beispiele den Beweis liefern mögen[4]. In Hallowel

1 L. v. Buch Reise nach Norwegen und Lappland. 2 Th. Berl. 1810. 8. II. 89.

2 Bedemar Reisen. II. 94.

3 Mem. of the Soc. of Philadelphia. T. I.

4 Vergl. *Temperatur*, wo die Sache ausführlicher abgehandelt wird.

und Massachusetz [1] unter 44° 16′ N. B. dicht über dem Meere stand das Thermometer in der Nacht vom 22sten bis 23sten Jan. und vom 26sten bis 27sten Jan. 1807 auf — 37,5 C. v. Langsdorf [2] fand in Neuarchangel unter 57° N. B. das Klima ziemlich milde. Der 11te Jan. 1806 war der kälteste Tag, hatte aber nur — 20° C., und ein anwesender Americaner Dwolf versicherte ihn, es sey dort gelinder als in Boston, Rhode-Island u. a. a. O. Vorzüglich hat sich v. Chamisso [3] ausführlich über diesen Gegenstand erklärt. Die aleutischen Inseln unter der Breite von Hamburg haben stets ein winterliches Ansehen, und am 5ten Juli 1817 ging dort zuerst das Eis auf. Im Hafen Peter-Paul unter 53° 1′ zeigte sich den 29sten Juni 1816 das erste Erwachen des Frühlings. Nur die Birke wächst dort verkrüppelt, ungeachtet der Hafen gegen den Wind geschützt ist. Vielleicht würde dort Sommerkorn, wie in Lappland unter 70° N. B. aufkommen, allein der Versuch wäre zu unsicher, und man bauet daher nur Kartoffeln, welche kleine, aber eſsbare Knollen geben. Die Schneegrenze geht nach v. Buch in Mageroë unter 71° N. B. bis auf 300 Toisen herab, und nicht höher soll sie auf Unalaschka unter 54° N. B. seyn. Auf dieser nämlichen Insel ragen die Weiden kaum über das Gras hervor, welches übrigens üppig vegetirend die feuchten Thalgründe bedeckt. Erhebt man sich etwas aus diesen Niederungen, so hat man eine durchaus alpinische Flora. In der St. Laurent's Bucht unter 65° 30′ ist die Erde stets gefroren, und thauet bloſs durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen einige Fuſs tief auf, und dann wächst Gras und Weiden, welche aber bloſs bis ans Knie reichen. Im Kotzebue-Sund und am Ausflusse des Mackenzie-River unter 68° N. B. ist die Vegetation fast besser, allein dort giebt es sogar Stellen, wo das ewige Eis mit einem oder zwei Fuſs hoher Dammerde bedeckt ist, in welcher das Gras seine Wurzeln hat. Am auffallendsten sind die Beobachtungen von Parry und Franklin über die unglaubliche Kälte des nördlichen Theiles von America. Ersterer beobachtete unter andern in Melville unter 74° N. B. am 26sten Sept. schon — 15°,75 C., im Januar einmal 17 Stunden anhaltend — 45° als

1 Trans. of the Amer. Soc. 1809.

2 Reisen. II. 88.

3 Kotzebue's Reis. III. 163

größte Kälte aber — 48°,5. Selbst im Juni zeigte das Thermometer einmal — 2° C. im August — 5°,6, und bloſs im Juli kam die Temperatur nicht unter 0°. Dennoch aber wird dieses noch übertroffen durch das, was Franklin auf dem Festlande erlebte, indem er unter 64° 30′ N. B., also 1° 20′ niedriger als Torneö, und 112° W. L. von Greenwich — 49°,3 C. beobachtete[1]. Daſs in jenen Gegenden die mittlere Temperatur nicht = 0 seyn könne, folglich auch die oben angegebene Formel nicht als allgemein gültig zu betrachten sey, ergiebt der Augenschein[2].

Man hat sich verschiedentlich Mühe gegeben, die Ursachen dieser Ungleichheiten aufzufinden. Der Spanier Acosta[3] leitet die gröſsere Kälte in America von dem Einflusse der Winde ab, allein diese Hypothese verdient gar keine ernstliche Widerlegung. D'Aubuisson[4] und G. G. Schmidt[5] finden mindestens einen Theil dieser groſsen Kälte in Sibirien und Nordamerica aus der geringen Cultur des Bodens und den groſsen Wäldern erklärlich, allein hiergegen streitet das Verhalten der Meeresküsten, insbesondere seitdem es ausgemacht ist, daſs das nördliche americanische Continent unter etwa 68° N. B. an das Meer grenzt. v. Chamisso[6] sucht die gröſsere Wärme Norwegens aus den Strömungen der warmen Luft abzuleiten, welche von den Sandwüsten Africa's dorthin gelangen sollen. Dieser Grund hat allerdings viel für sich, allein er erklärt gerade die specielle Erscheinung, nämlich die höhere Temperatur Norwegens nicht, theils weil vermöge der Axendrehung der Erde

---

1 S. G. LXXIII. 63.

2 Ein Ungenannter in Trans. of the Royal Soc. of Edinb. 1820, vergl. Bibl. univ. XVII. 259 giebt sich viele Mühe darzuthun, daſs die Formel $T' = 22°$ R. Cos.^{2} lat., mit den Beobachtungen besser übereinstimmen als die von Kirwan oben angegebene, welcher 24° R. annimmt, und eine weitläufige Tabelle soll diesen Satz begründen. Allein die Widerlegung folgt aus dem im Texte gesagten von selbst. Leichter würde T. Mayer's Formel, $T = m - n$ Sin.^{2} lat. für höhere Breiten passend werden, wenn man n gröſser als m nähme, allein dann würde sie den niederen Breiten nicht angemessen seyn. Eine allgemein passende Formel ist bei so groſsen Abweichungen unmöglich.

3 Erwähnt in v. Humboldt's Reisen.

4 Geognosie. I. p. 433.

5 Naturlehre. S. 626.

6 Kotzebue's Reise. III. 163.

die unter dem Aequator aufsteigenden, und so mit einer stärkeren Schwungkraft versehenen Luftschichten bei ihrer nördlichen Strömung eine südwestliche Richtung annehmen müßsten, und also eher nach Preußsen und Rußsland, als nach Norwegen, gelangen würden, theils ist nicht sowohl die Luft in Norwegen wärmer, als vielmehr der Boden, wie aus der Vegetation desselben selbst unter dem Schnee im Winter im Gegensatze gegen Sibirien und America genugsam hervorgeht[1].

Ich selbst habe über dieses Problem lange und ernstlich nachgedacht, ohne daßs es mir gelingen wollte, die mir selbst genügend scheinenden Ursachen aufzufinden, hege aber gegenwärtig folgende Ansicht. Die gröſsere Kälte des nördlichen America's und Sibiriens darf nicht als etwas Ausgezeichnetes betrachtet werden, sondern ist die Regel, welche die der Erde im Allgemeinen zukommende Wärme angiebt, bei weitem dem gröſsten Theile der nördlichen Halbkugel zukommt, und der ganzen südlichen eigen ist. Man würde diesen so klaren und an sich so unbestreitbaren Satz schon längst angenommen haben, wenn man nicht der Natur der Sache nach auf eigene Beobachtungen einen vorzüglichen Werth zu legen pflegte, und nun fallen gerade die Wahrnehmungen der cultivirten Welt zunächst in Gegenden, welche nicht die Regel, sondern die Ausnahme der regelmäſsigen Erdtemperatur angeben, weswegen die hieraus abstrahirten Resultate als die bestimmenden, die davon abweichenden aber als Ausnahme betrachtet wurden. Die Aufgabe wird hierdurch bedeutend leichter, indem sie fordert, die Ursachen der über die Regel hinausgehenden mittleren Temperatur eines groſsen Theiles von Europa und insbesondere Skandinaviens aufzufinden. Dieser giebt es verschiedene, welche zusammenwirken, deren einige gewiſs, andere noch problematisch sind.

Als erste und hauptsächlichste Ursache sehe ich die *individuelle Strömung des groſsen Oceans* an. Bekanntlich hat der Golphstrom das heiſseste Wasser des Meeres auf der ganzen Erde, und in so ungeheurer Menge, daſs die groſse Wärme desselben noch auf 80 bis 100 Faden Tiefe bemerklich ist[2], drängt seine Fluthen in den Mexicanischen Meerbusen zusam-

---

1 Wahlenberg bei G. XLI. 277.

2 Horner bei G. LXIII. 276.

men, von wo aus sie ihre Richtung nach den europäischen Küsten nehmen. Sie wirken alsdann auf eine gedoppelte Weise, zuerst indem sie den Erdboden von unten auf fortwährend erwärmen, und zweitens indem die aufsteigenden heifsen Dämpfe als warmer Regen niederfallen. Die Wahrheit dieser letzteren Behauptung geht unverkennbar hervor aus einer schätzbaren Vergleichung, welche der scharfsinnige Capt. SABINE zwischen der schnelleren Strömung dieses Riesenstromes, als Folge anhaltenderer periodischer Winde unter dem Aequator, und der hierdurch höheren Temperatur desselben nebst der hiervon abhängenden gelinderen Witterung im Winter und der gröfseren Regenmenge hauptsächlich an Grofsbritanniens Küsten gegeben hat[1], sie folgt aber aufserdem noch sehr deutlich aus dem Gesammtverhalten der Witterung in dem gröfsten Theile von Europa, indem die Regen der Regel nach durch westliche, süd-west- und nordwestliche Winde herbeigeführt werden, auch heftige Stürme meistens im atlantischen Ocean ihren Ursprung haben, worüber ich unter andern nur auf die schätzbaren Untersuchungen von BRANDES[2] verweise. Dafs eben diese Ursache auch die vielen Stürme, lauen Winde, warmen Winterregen und Wintergewitter, endlich aber zugleich den niedrigen Barometerstand an Norwegens Küsten herbeiführe, liegt, wie mich dünkt, am Tage; allein nicht blofs dieses darf man als erwiesen ansehen, sondern selbst die Erwärmung des Bodens von unten her durch das allerorten anspülende wärmere Wasser. Lange habe ich vergebens gesucht, dieses durch eine genügende Autorität zu beweisen, bis ich auch diese gefunden habe. SCORESBY's Untersuchungen[3] haben nämlich ergeben, dafs das Wasser des Meeres selbst bis zur Westküste von Spitzbergen hinauf in der Tiefe an Wärme bedeutend zunimmt, wovon auch nach seiner Ansicht die Ursache in nichts anderem als in Strömungen liegen kann, durch welche das wärmere Wasser herbeigeführt wird[4].

1 An Account of Experiments to determine the Figure of the Earth. cet. p. 433.

2 De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Lips. 1826. 4.

3 Account of the Arctic Regions I. 209. Vergl. Tagebuch einer Reise auf den Wallfischfang u. s. w. übersetzt von Kries. Hamburg 1825. 8. S. 257.

4 Ich habe bei mir schon oft die Frage aufgeworfen, welche

Dabei ist es merkwürdig, wie günstig die Lage Europa's ist, um von Strömungen dieser Art Vortheil zu ziehen. Dahin gehört das Einströmen des atlantischen Meeres durch den Canal von Gibraltar in das mittelländische Meer, durch den Canal zwischen England und Frankreich in die Nordsee, und das Eindringen seines Wassers bei Stürmen und vielleicht auch durch eine Unterströmung in den Sund, die Richtung seiner nördlichen Küsten nicht gerechnet. Aehnliche Meeresströmungen mögen auf die Temperatur der östlichen Küste Asiens einen Einfluſs haben, indeſs sind diese weniger leicht nachzuweisen, an sich ungleich geringer und somit auch weit weniger wirksam.

Auſser dieser Ursache ist nicht zu verkennen, daſs die von Africa's brennenden Sandebenen aufsteigenden und seitwärts abfliesenden erhitzten Luftmassen nach Chamisso[1] zur Erwärmung des nördlichen Europa's vieles beitragen müssen, wenn sie auch vermöge der Axendrehung der Erde nur zum geringsten Theile gerade Norwegen treffen, und ihre Wirkungen mehr östlich über Preuſsen, Finnland und Ruſsland ausdehnen, wie denn überhaupt alle Länder des nördlichen Europa's und selbst auch Asiens dem Einflusse der gröſseren Wärmeentbindung über weiten Länderstrecken ausgesetzt sind, und daher im Allgemeinen eine höhere Temperatur haben, als das nördliche America, wo eine solche Ursache überall nicht, oder nur in einem weit geringeren Grade wirksam ist.

Ob auſser diesen Ursachen noch andere, namentlich in Beziehung auf Norwegen, wirksam sind, wage ich aus Abneigung gegen bloſse Hypothesen nicht zu entscheiden. Man könnte sonst die unterirdischen vulcanischen Herde Islands anführen, oder noch näher die unbestreitbare Erhebung Skandinaviens aus einer Erwärmung durch gleiche Ursachen herleiten, allein dieses alles ist ungewiſs und unzuverlässig.

5. Niemand hat die ungleiche Verbreitung der Wärme über den Erdboden nach den darüber bekannten Thatsachen vollständiger aufgefaſst und sinnreicher zusammengestellt, als A. v. Hum-

---

Veränderungen nach dieser Ansicht die Durchgrabung der Landenge von *Panama* nach sich ziehen würde. Wäre einmal ein kleiner Canal vorhanden, so würde die Gewalt des Wassers ihn bald erweitern.

1 S. oben.

BOLDT[1] in seinen isothermischen Linien (bandes isothermes).
Fig. 180. Man wuſste nämlich schon lange, daſs nicht alle Oerter unter gleichen Parallelen eine gleiche Temperatur haben, v. HUMBOLDT aber hat dargethan, daſs nach Abzug des Einflusses der stärkeren Erhebung über den Spiegel des Meeres die mittlere Temperatur der verschiedenen Gegenden so ist, als ob sie unter niederen Breiten lägen, und wenn man hiernach die Parallelen auf eine solche Weise krümmt, daſs sie durch die Oerter von gleicher mittlerer Wärme gehen, so erhält man die genannten Linien. Indem aber die Zeichnung an sich deutlich ist, die wahrscheinlichen Ursachen dieser Abweichungen aber schon angegeben sind, so bedarf die Sache keiner weiteren Erläuterung. Im Allgemeinen folgt zugleich, daſs die Temperaturverminderung für gleiche wachsende Breitenunterschiede im alten Continente geringer ist, als im neuen. Man kann nach v. HUMBOLDT hierüber folgende Werthe als der Wahrheit sehr nahe kommend annehmen.

Grade der Breite	Abnahme der Temp. altes Continent	Abnahme der Temp. neues Continent
0° bis 20°	2°	2°
20 — 30	4	6
30 — 40	4	7
40 — 50	7	9
50 — 60	5,7	7,9

Aus denjenigen Thatsachen, auf welche v. HUMBOLDT die Construction seiner isothermischen Linien gegründet hat, und aus einigen anderen glaubhaften Angaben ist die folgende Zusammenstellung der mittleren Temperaturen einiger der bekanntesten Oerter hervorgegangen, bei deren Bestimmung jedoch der Einfluſs anderweitiger Bedingungen, als der Höhe über der Meeresfläche u. s. w. zu berücksichtigen ist, wenn man ihre mittlere Temperatur mit ihrer geographischen Lage vergleicht.

---

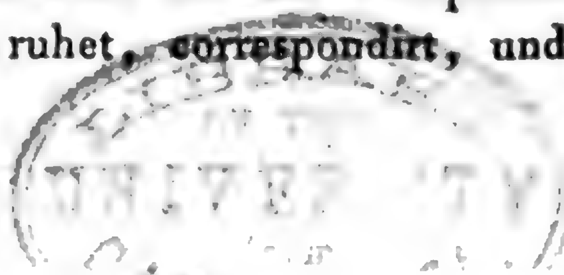
1 Mém. de la Soc. d'Arcueil, T. III. Vergl. Ann. Ch. et Ph. T. V.

Oerter	Breiten	Temp.
Guiana	. . . .	28°,1
Cumana	10° 28′	27,7
Batavia	6 12s	26,9
Madras	13 5	26,9
Senegambia	14 40	26,6
Vera Crux	19 12	25,6
Havanna	23 9	25,6
Manilla	14 36	25,6
Cairo	30 2	22,4
S. Croix di Teneriffa	28 28	21,9
Algier	36 50	21,0
Neapel	40 50	18,0
Paramatta	33 49s	17,3
Rom	41 54	15,8
Marseille	43 17	14,3
Mailand	45 29	13,2
Philadelphia	39 57	12,9
St. Malo	48 39	12,5
Newyork	40 43	12,1
Peking	39 54	12,6
Amsterdam	52 22	11,9
Paris	48 50	11,7
Franecker	— —	11,3
London	51 29	10,8
Buda	47 30	10,6
Cork	51 54	10,6
Ofen	47 49	10,6
Wien	48 11	10,3
Manheim	49 39	10,2
Prag	50 5	9,9
Genf	46 12	9,6
Dublin	53 20	9,6
Eniscoo	54 48	9,3
Sala	59 50	9,3

Oerter	Breiten	Temp.
Warschau	52° 14	9°,2
Strassburg	48 35	9,1
Berlin	52 32	9,1
Bellycastle	55 12	8,9
Edinburg	55 56	8,8
Göttingen	51 32	8,3
Koppenhagen	55 41	7,6
Delft	52 1	7,5
Christiania	59 55	5,9
Williamstown	— —	5,9
Stockholm	59 20	5,8
Upsala	59 52	5,5
Quebeck	46 48	5,5
Abo	60 27	5,2
Moscow	55 45	4,5
Drontheim	63 26	4,4
Petersburg	59 56	3,8
Torneä	65 51	3,0
Wadsoë	70 20	2,2
Umeo	63 49	0,7
Uleo	65 0	0,6
Eyafiord	66 30	0,6
Nordcap	71 10	0,0
Cumberland House	54 0	— 0,5
Enontekis	68 17	— 2,8
Nain	57 8	— 3,1
Fort Enterprise	64 30	— 9,2
Winter - Island	66 12	—12,5
Ingloolik - Island	69 30	—13,9
Melville - Island	75 —	—18,5

D. Temperatur der Atmosphäre.

Die Untersuchung über die Wärme der Luft, sowohl in ihrer Berührung mit der Erde als auch in gröſseren Höhen ist sehr interessant und wichtig, zugleich aber auch ausnehmend schwierig, nicht bloſs was die Theorie, sondern selbst was die bloſsen Thatsachen betrifft. Ausgemacht ist zuvörderst im Allgemeinen, daſs die Wärme der Luft mit der Temperatur der Erdoberfläche, auf welcher sie ruhet, correspondirt, und nach



leicht zu erklärenden Modificationen, die letztere bald übertrifft, bald hinter ihr zurückbleibt, dafs ferner die Luft von der Erde meistens Wärme erhielt, oft aber auch dieser mittheilt, dann aber von einer im Niveau des Meeres liegenden Ebene an gerechnet mit zunehmender Höhe an ihrer Temperatur nach einem vorerst noch unbestimmten Gesetze abnimmt. Um jedoch eine an sich so schwierige Sache in der Darstellung nicht noch mehr zu verwirren, mögen zuerst die bekannten Thatsachen und demnächst die darauf gebaueten theoretischen Bestimmungen folgen.

a. Erfahrungen über die Wärmeabnahme in gröſseren Höhen.

Die Resultate, welche man aus der Messung der Temperaturen und der Höhen, denen sie zugehören, erhalten hat, weichen so sehr von einander ab, dafs es kaum den Anschein hat, als liefse sich auf diesem Wege überhaupt Gewifsheit erlangen. Folgendes scheint indefs die herrschenden Regeln und die einflufsreichsten Bedingungen zu enthalten.

1. *Die Wärmeabnahme ist geringer über grofsen Bergmassen und Bergebenen* (Plateaus) *als über einzelnen Bergspitzen* (Pics). Die meisten Beobachtungen, welche dieses insbesondere zwischen den Wendekreisen auf America's hohen Bergebenen darthun, verdanken wir dem Eifer A. v. Humboldt's. Nach ihm findet man auf dem Rücken der Andes in einer Höhe von 1600 Metern die mittlere Temperatur von Algir, auf 2700 M. die von Florenz. Dagegen mufs man an steilen Bergen tiefer herabsteigen, um in das Klima von Italien und Nordafrica zu kommen. So fand er unter andern[1]

Beobachtungsörter	Breiten	Höhen Met.	mittl. Temp.	Höhe für 1°C. Tois.
Quito	0° 13′ 17″ s	2907	15°,0	125
Popayan	2 16 17 n	1769	20,6	130
Sta. Fe de Bogota	4 35 0	2660	16,5	131
Mexico	19 25 35	2277	16,9	129
		Mittel		128,7

Diese Höhen, welche wenig von einander abweichen, sind ungleich gröfser, als diejenigen, welche sonst bei gleichen Erhe-

1 G. XXXI. 369.

bungen gefunden werden, und stehen blofs denjenigen nach, welche man auf den noch bedeutendern Bergmassen des Himlayagebirges gefunden hat, wenigstens danach zu schliefsen, dafs die Schneegrenze dort so ausnehmend hoch liegt[1]. Ueberhaupt gehören diese ungewöhnlichen Höhen für die Abnahme der Wärme nur den unteren Theilen bis zur angegebenen Höhe der Bergebenen an, indem weiter hinauf die Wärme ungleich schneller abnimmt, wie abermals die Höhe der Schneegrenze beweiset.

2. Eben diesem fleifsigen Forscher verdanken wir auch eine Menge Beobachtungen über die Abnahme der Temperatur auf den hohen Bergen zwischen den Wendekreisen. Dahin gehören unter andern folgende[2]:

Beobachtungsörter.	Breiten		Unterschied der Höhe	Unterschied der Temp.	Höhe in Met. auf 1° C.
Coffre de Perotte	19°	29′	4047	22°,1	183,1
Nevado de Toluca	10	6	4619	23,2	198,7
Silla de Caraccas	10	37	2603	13,7	189,8
Fuerta de la Cuchilla	10	33	1512	8,5	177,8
Guadaloupe	4	36	3287	16,9	194,4
Pichincha	0	14 s.	4679	27,7	197,8
Chimboraço	1	28 s.	5876	19,1	201,9
Pico di Teneriffa	28	17	3704	20,1 19,0	184,2 194,9
			Mittel	—	191,4

Im Mittel giebt dieses also 98 Tois. auf 1° C. Beim Ersteigen des Pico di Teneriffa fand v. Humboldt[3] 94 T. für 1° C. nach andern Beobachtungen aber 96,8 T. und für steile Berge überhaupt rechnet er[4] im Mittel 96 Tois. für 1° C.

3. Die Lage der Beobachtungsörter rücksichtlich ihrer geographischen Breite kommt gleichfalls in Betrachtung, giebt indefs nicht so bedeutende Unterschiede und fällt sehr mit den Bedingungen der Jahreszeit zusammen, in welcher die Messungen angestellt werden, so dafs ich nicht wage, hierüber ein allgemeines Gesetz aufzustellen. De Saussure[5] fand in den

---

1 Vergl. *Schneegrenze* Nr. 7.
2 G. XXXI. 365.
3 Reis. d. Ueb. I. 208. G. XXIV. 28.
4 J. d. Ph. LXVI. 425.
5. Voyag. cet. §. 2226.

Schweizeralpen vermittelst der Thermometer, welche er in verschiedenen Höhen in die Erde senkte, um den Einfluſs der täglichen Veränderungen verschwinden zu machen, daſs ohngefähr 60 bis 80 Tois., im Mittel etwa 77 Tois. Erhebung für 1° C. gehören. Auf den höchsten schneefreien Alpen fand derselbe mit RAMOND 88 T. für 1° C. DALTON[1] erhielt bei seinen Versuchen auf den Bergen in Nordengland 68 Tois. auf 1° C. für die Zeit, wenn die Erde den höchsten Grad ihrer Erwärmung erreicht hatte, welche Bestimmung allerdings unter die niedrigern gehört, und kaum zu irgend einer bisher angenommenen Regel paſst. Aus denjenigen Schlüssen nämlich, welche v. ZACH[2] auf die Absorption der Lichtstrahlen durch die Atmosphäre und die Resultate der beobachteten Strahlenbrechung gründet, muſs man vielmehr folgern, daſs die Wärme in höheren Breiten langsamer abnimmt, als in niederen. D'AUBUISSON[3] hat viele an verschiedenen Orten angestellte Beobachtungen verglichen, woraus aber keineswegs so übereinstimmende Resultate folgen, als v. HUMBOLDT gefunden hat. Dahin gehören unter andern diejenigen, bei denen zugleich die Tagszeiten, in denen sie gemacht wurden, bemerkt sind.

Beobachtungsörter	Höhen in M.	Zahl d. Beob.	Stunde	Höhe in M. für 1° C.
St. Bernhard u. Paris	2430	50	12	162
— — — Turin	2222	51	12	138
— — — —	—	24	11	134
— — — —	—	24	8	161
— — — —	—	24	4	136
— — — Aosta	1409	45	12	140
— — — —	—	37	8	143
— — — —	—	26	4	134
Monte Gregorio u. —	1708	10	12	151
		Mittel	—	147

Das Mittel hieraus giebt also nur 75,42 Tois. für 1° C. Aus einer andern Zusammenstellung[4] findet derselbe 149 Met. oder 76,5 T. Die Abweichungen der einzelnen Bestimmungen sind

1 Mem. of the lit. and phil. Soc. of Manchester. IV. 104.

2 Mon. Cor. XXI. 113.

3 Journ. de Ph. LXXI. 35.

4 Traité de Geog. I. 439.

weit gröſser als in den durch v. HUMBOLDT angegebenen, welches indeſs keineswegs gegen ihre Genauigkeit entscheidet. Auch bei derjenigen Zusammenstellung von Beobachtungen unter verschiedenen Breitengraden, welche durch COTTE[1] mitgetheilt ist, findet das Nämliche statt.

4. Da es überflüssig seyn würde, die Zahl der Beobachtungen zu häufen, wenn sie nicht zur weiteren Aufklärung der Sache dienen, so wähle ich nur diejenigen, aus denen anderweitige Bedingungen des allgemeinen Gesetzes folgen. Schon aus den angegebenen ergiebt sich, daſs auch die Tagszeiten einen Einfluſs auf die Höhen haben, welche gleichen Temperaturdifferenzen zugehören. Bei den Beobachtungen zwischen dem St. Bernhard und Turin und auch diesem Berge und Aosta sind die Höhen am Morgen um 8 Uhr am stärksten, noch auffallender aber zeigen sich diese um die nämliche Zeit gröſser bei den Angaben, welche wir DE SAUSSÜRE[2] verdanken. Dieser beobachtete nämlich auf dem Col de Géant sechzehn Tage lang im Monat Juli in einer Höhe von 3400 Metern, woraus folgende Höhenunterschiede für 1° C. hervorgehen.

Stunden		Höhen	Stunden		Höhen
Mitternacht	—	171 Met.	Mittag	—	148 Met.
2 Uhr	—	189 —	2 Uhr	—	140 —
4 —	—	210 —	4 —	—	142 —
6 —	—	195 —	6 —	—	141 —
8 —	—	180 —	8 —	—	143 —
9 —	—	160 —	10 —	—	157 —

Das Mittel aus allen giebt 158 Met. Höhe für 1° C. oder 81,1 Toisen. Daſs diese constante Erscheinung auf ein Naturgesetz gegründet seyn müsse, kann hiernach nicht anders als wahrscheinlich werden, indeſs scheint es mir hier nicht der Ort zu seyn, auf eine Untersuchung desselben einzugehen[3]. DE SAUSSÜRE glaubt insbesondere auf diese Beobachtungen eine andere Folgerung bauen zu dürfen, welche durch anderweitige theore-

1 J. de Ph. LXVIII. 132 u. 222.

2 Voy. §. 2050. Vergl. d'Aubuisson a. a. O. p. 437.

3 Vergl. unten *Theorie*. E. c. 3. Uebrigens hat schon v. ZACH aus der gröſseren Strahlenbrechung am Morgen gefolgert, daſs um diese Tagszeit die Wärmeabnahme geringer seyn musse. S. Mon. Cor. XXI. 115.

tische Gründe nicht wenig unterstützt wird, worüber aber im Allgemeinen schwer zu entscheiden ist. Er glaubt nämlich, daſs die täglichen Unterschiede der Temperaturen mit den Höhen stets mehr abnehmen, und endlich ganz verschwinden, ja daſs sogar auch die jährlichen Unterschiede in unerreichbaren Höhen von 12 bis 14000 Metern oder mindestens in der doppelten Höhe nicht mehr existiren, während sie in unseren Breiten an der Erdoberfläche gegen 50° betragen. Auf nicht allzuhohen Bergmassen bestätigt dieses zwar die Erfahrung nicht, denn wenn anders die Angaben richtig sind, so hat man auf dem Hospitium des St. Bernhard, also in 7680 F. Höhe + 17° und — 27° R. beobachtet[1], welches eine Differenz von 55° C. giebt, und Ramond[2] schätzt den Unterschied der höchsten und niedrigsten Temperatur auf dem Pic du Midi bei 1500 T. Höhe nach seinen Beobachtungen etwa 45° C.; allein de Saussure gesteht auch zu, daſs dieses Verschwinden der täglichen und jährlichen Differenzen auf Bergen nicht so leicht erfolgt, als in freier Luft, wie aus später vorkommenden Gründen leicht erklärlich ist. Wenn man aber annimmt, daſs der Wechsel der Temperaturen hauptsächlich eine Folge des Aufsteigens der an der Erdoberfläche erwärmten Luftschichten ist, der Einfluſs derselben aber mit zunehmenden Höhen verschwinden muſs, so wird man hierdurch geneigt, der Hypothese de Saussure's beizupflichten. Noch bestimmter als dieser Gelehrte erklärt sich auch v. Zach[3] in Folge verschiedener, allerdings nicht absolut begründeter Thatsachen dahin, daſs die Temperatur der Atmosphäre in 5693 T. Höhe über der ganzen Erde gleich sey.

5. Hiermit in unmittelbarem Zusammenhange stehend und auf ähnlichen Gründen beruhend ist der Einfluſs der Jahreszeiten, wie d'Aubuisson's correspondirende Beobachtungen in Genf und dem Hospitium des St. Bernharnd während des Jahres 1818 darthun[4]. Die hiernach für 1° C. Temperaturdifferenz erhaltenen Höhen sind zwar wegen der Lage des Thermometers am oberen Beobachtungsorte etwas zu groſs, allein dieser

1 Hesperus oder encyklopädische Zeitung von André. XXVII. 99.
2 Ferrüssac Bullet. des Sc. math. 1826. Mai. p. 350.
3 Mon. Cor. XXI. 119.
4 Traité de Géog. I. 437.

somit constante Fehler benimmt ihnen die Beweiskraft rücksichtlich der hier zu beantwortenden Frage nicht.

Monate		Höhen	Monate		Höhen
Januar	—	221 Met.	Juli	—	142 Met.
Februar	—	214 —	August	—	149 —
März	—	219 —	September	—	164 —
April	—	211 —	October	—	241 —
May	—	222 —	November	—	201 —
Juni	—	210 —	December	—	246 —

Im Mittel aus allen folgen 203 Met. oder 104 T. für 1° C. Eben deswegen meint auch de Saussüre nach einer im Allgemeinen richtigern Angabe, daſs im Mittel für den Sommer 156 Met. = 80 T. für den Winter dagegen 184 Met. = 94,4 T. zu rechnen seyen. Man sieht indeſs bald, daſs es nach theoretischen Gründen sowohl als auch nach der Erfahrung hierbei sehr auf den Eintritt und die Dauer der Sommerwärme und der Winterkälte ankomme. Uebrigens nennt es auch v. Humboldt[1] eine den Gebirgsbewohnern bekannte Erfahrung, daſs der Unterschied der Temperatur auf den Bergen und in Thälern im Winter geringer ist, als im Sommer, und nach Svanberg's Messungen soll in hohen Breiten die Wärmeabnahme gleichfalls geringer seyn, als in niederen[2]. Letzteres stimmt zwar nicht mit Dalton's oben Nr. 3 angegebenen Resultaten überein, allein theils ist die von diesem erhaltene Bestimmung überhaupt sehr klein, theils wird ausdrücklich dabei hinzugesetzt, daſs sie nur für diejenige Zeit gelte, wenn die Oberfläche der Erde am stärksten erwärmt, folglich die Höhe bis zu den kälteren Luftschichten am kleinsten ist, endlich kann auch eine Ursache der Abweichung dieser in England erhaltenen Resultate von den sonst gewöhnlichen in einer Eigenthümlichkeit jenes Landes liegen, wovon weiter unten die Rede seyn wird.

6. v. Humboldt[3] bemerkt mit Recht, daſs auch der Boden, auf welchem die zu untersuchenden Luftschichten ruhen,

1 G. XXXI. 381.

2 Nach v. Humboldt a. a. O. S. 386. wird die Wärmeabnahme bei der strengsten Kälte nur um 0,2 geringer, die mittlere Wärmeabnahme des ganzen Jahres aber ist eine Function der mittleren Temperaturen der verschiedenen Zonen, und verlangsamt sich daher vom Aequator nach den Polen hin.

3 G. XXXI. 362.

und durch welchen die Erwärmung grösstentheils bewirkt wird, die Wärmeabnahme bei zunehmender Höhe bedinge, und Prechtl[1] findet hierin eine Ursache der Variationen der Schneegrenze unter gleichen geographischen Breiten. Allerdings muſs die Wärme langsamer abnehmen über dem Meere und über einer mit Schnee bedeckten Ebene, als über pflanzenlosen Wüsten, dagegen schneller über dem Abhange eines kegelförmigen Berges, als über einer Cordillere mit groſsen, terrassenförmigen Plateaus. Eine Ausnahme von dieser, übrigens vollkommen richtigen, Behauptung, oder mindestens eine Einschränkung derselben, findet dann statt, wenn die erwärmten Luftschichten während mehrerer Stunden von einem durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen stark erhitzten Boden aufgestiegen sind, letzterer aber durch irgend eine Ursache wieder erkaltet ist.

7. Endlich zeigt Prechtl[2] nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch speciel aus den durch Gay-Lüssac bei seinem Auffluge erhaltenenen Resultaten, daſs die individuelle Beschaffenheit der Luftströmungen und Winde eine Modification der Wärmeabnahme in zunehmenden Höhen herbeiführen müsse. Man begreift leicht, daſs solche Luftströmungen, desgleichen das lothrechte Aufsteigen erwärmter Luftschichten bei nachfolgender Abkühlung des Erdbodens und der ihn unmittelbar berührenden Luftschichten sogar eine mit der Höhe wachsende Temperatur erzeugen kann. Indem Letzteres aber nur als eine partielle und ausnahmsweise statt findende Erscheinung zu betrachten, das Ganze aber an sich klar ist, so bedarf es keiner weiteren Erläuterung.

8. Bisher habe ich diejenigen Bestimmungen nicht erwähnt, welche rücksichtlich der mit den Höhen abnehmenden Temperatur vermittelst aërostatischer Versuche erhalten wurden. Diese sind zwar nichts weniger als zahlreich, allein die durch Gay-Lüssac[3] erhaltenen dürfen neben ihrem groſsen Umfange und der bedeutenden Höhe, bis zu welcher sie reichen, auf einen so ausgezeichneten Grad der Genauigkeit Ansprüche machen, daſs sie nicht bloſs erwähnt werden müssen, sondern später auch als vorzüglicher Maſsstab der Vergleichung dienen können. Hier

1 G. LXXVI. 261.

2 a. a. O. S. 263.

3 Ann. Chim. LII. J. d. Ph. LXXI. 85. Journ. des Mines XXIV.

mögen daher nur folgende allgemeine Angaben genügen. Gay-Lüssac erhielt nämlich für die ganze von ihm erreichte Höhe von 7000 Metern unter der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Abnahme der Temperatur 173 Met. oder 88,76 T. auf 1° C. Zugleich aber fand er von der Oberfläche der Erde an gerechnet bis zu einer Höhe von 3691 Met. 191 Met. = 98 T., von dieser Höhe bis zu 7000 Met. dagegen 141 Met. = 72,34 T. für 1° C. und von 5000 bis 7000 M. rechnet er nur 134 M. oder 68,76 T. auf die nämliche Temperaturdifferenz.

Die Beobachtungen anderer Aëronauten sind entweder überhaupt sehr unbestimmt, oder erreichen mindestens die angegebenen keineswegs an Genauigkeit, weswegen ich nur einige derselben benutze. Graham und Beaufoy bei ihrem aërostatischen Aufluge am 17ten Juni 1824 haben zum Theil das Gegentheil dieser Resultate erhalten, zum Theil dieselben bestätigt gefunden. Sie beobachteten nämlich

Bar.	29,8 Z. eng.	Therm.	$14\frac{4}{9}$ R.	Bar.	25,5 Z. eng.	Therm.	$5\frac{7}{9}$ R.
—	23,3 — —	—	$3\frac{1}{9}$ —	—	19,3 — —	—	0 —

Werden nach diesen Angaben die Höhen nahe genau berechnet, so kommen auf die untere Station etwa 62 Tois. Höhe auf 1° C. Wärmeabnahme, auf die zweite 112 T. und auf die dritte 111 T. für eine gleiche Temperaturdifferenz, im Mittel etwa 95 T. auf 1° C. Die erste Angabe kommt mit Dalton's oben angegebener Bestimmung überein, das mittlere Resultat übertrifft das von Gay-Lüssac gefundene, welches wegen höherer Breite als der Regel gemäſs angesehen werden kann, allein der Unterschied der ersten Station und der beiden folgenden ist so bedeutend, daſs er nothwendig aus örtlichen Bedingungen abgeleitet werden muſs[1].

Die Beobachtungen des russischen Akademikers Sacharow[2] bei seinem aërostatischen Aufluge mit Robertson stehen an Genauigkeit und Schärfe den durch Gay-Lüssac erhaltenen sehr nach, und werden daher von den Physikern meistens ganz übersehen. In wie fern Sacharow von seinem ganz unwissenschaftlichen Begleiter gar keine Unterstützung erhalten konnte, vielmehr durch die possenhaften Grillen desselben eigentlicher gestört werden muſste, hat Gilbert genügend gezeigt, und

1 Vergl. Nr. 10.

2 G. XX. 107.

es geht dieses auch ziemlich deutlich aus dem Berichte selbst hervor. Unter allen Beobachtungen waren aber die des Barometers und Thermometers die leichtesten, und ich nehme daher keinen Anstand, diese für den vorliegenden Zweck mit hinlänglich genäherter Schärfe zu berechnen. Wird dann nach den vorhandenen Wahrscheinlichkeitsgründen vorausgesetzt, daſs das gebrauchte Thermometer achtzigtheilige Grade zeigte, so erreichte der Aërostat eine absolute Höhe von 7998 F. oder 1333 Tois. und eine Temperaturdifferenz von 14°,5 R., wonach 92 T. auf 1° R. kommen. Dieser mittlere Werth ist aber auf die einzelnen Stationen sehr ungleich vertheilt, und es zeigt sich insbesondere eine weit schnellere Abnahme der Temperaturen als der Höhen, wie folgende Uebersicht beweiset.

Beob.	Barom. Stand in franz. Maſs	Thermom. Stand	Höhe in par. Fuſs	Höhe in Tois.	Höhe für 1° R. in T.
Nr. 1	28 Z. 1,8 L.	19°,0	000	000	0000
2	27 Z. 2,47 —	18,0	915	152	152,0
3	26 Z. 3,47 —	17,0	1833	306	153,0
4	25 Z. 4,24 —	15,0	2796	466	80,5
5	24 Z. 5,00 —	14,5	3781	630	246,0
6	23 Z. 5,90 —	13,0	4789	799	112,0
7	22 Z. 6,74 —	9,0	5834	973	43,5
8	21 Z. 7,60 —	6,5	6901	1150	71,0
9	20 Z. 8,48 —	4,5	7998	1333	92,5

Werden die hierin vorhandenen Fehler nach Wahrscheinlichkeitsgründen corrigirt, so kommen auf die ersten 300 Tois. für 1° R. 153 T., für die zweiten 300 T. kommen 160 T. auf 1° R. als Folge der von der Ebene an einem heiſsen Tage, d. 30sten Juni bis Abends 7 Uhr aufgestiegenen heiſsen Luftschichten, für die dritten 300 T. 135 T. auf 1° R. und für die letzten 300 T. etwa 85 bis 90 T.; im Mittel für die ganze Höhe, wenn man auf das allgemeine Sinken des Thermometers während der Dauer der Fahrt Rücksicht nimmt, etwa 96 bis 98 T.

9. Aus diesen letzten Betrachtungen, insbesondere aus Gay-Lüssac's sehr entscheidenden Versuchen geht unverkennbar das Resultat hervor, daſs die Höhen, welche gleichen Unterschieden der Temperatur zugehören, über der Oberfläche der Erde gröſser sind, als in weiterer Entfernung von derselben. Eben dieses fand indeſs schon v. Humboldt[1] beim Ersteigen

1 G. XXIV. 35.

des Chimboraço, indem er für die untern 9780 F, 133 T. für die oberen 8292 F, aber 88,5 T. für 1° C. rechnet und die Ursache dieser Erscheinung in der Wärmestrahlung findet. Aehnliche Erfahrungen machte er an verschiedenen andern Orten. D'Aubuisson leitet aus den zahlreichen Beobachtungen v. Humboldt's folgende unregelmäſsig wachsende Höhen ab, welche einer gleichen Temperaturdifferenz von 1° C. zugehören sollen.

Vom Spiegel des Meeres	bis 1000 Met.	87,22 Tois.
— 1000 M.	— 2000 —	150,80 —
— 2000 —	— 3000 —	119,00 —
— 3000 —	— 4000 —	67,21 —
— 4000 —	— 5000 —	92,30 —

Hiernach fände also zuerst eine geringe Höhe, dann eine bedeutende Vergröſserung derselben, dann wieder eine Abnahme und endlich wieder eine Zunahme statt. Daſs dieses indeſs als allgemeines Naturgesetz anzusehen seyn sollte, ist auf keine Weise wahrscheinlich. D'Aubuisson selbst ist dieser Meinung nicht, sondern glaubt, daſs ungeachtet der groſsen Unsicherheit und der auſserordentlichen Schwankungen in den einzelnen Bestimmungen dennoch die gesammte Masse der Beobachtungen der Annahme einer arithmetischen Reihe der Wärmeverminderung eben so gut zusagt, als jeder andern. Auch v. Humboldt[1] ist der Meinung, daſs im Allgemeinen die mit der Höhe abnehmende Wärme eine arithmetische Reihe befolge, und von dieser Regel nur dann abweiche, wenn örtliche modificirende Bedingungen vorhanden sind. Playfair[2] nimmt diesen Satz nur bedingt an, indem er sagt, daſs unter der Voraussetzung, die Ursache der Wärmeabnahme liege allein in der Entfernung von der Erde, und es fänden keine aufwärts steigende Luftströmungen statt, welche nach ihm wirklich nicht existiren sollen, die Verminderung der Temperatur dem Abstande vom Centro der Erde direct proportional seyn würde.

Auf die Voraussetzung, daſs die Wärmeabnahme den Zunahmen der Höhen direct proportional sey, hat Leslie[3] eine

1 G. XXXI. 388.

2 Outlines of Nat. Phil. cet. Edinb. 1814. I. 251. Vgl. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. VI. 365.

3 Elements of Geometrie. 2d. ed. p. 495. Vergl. Edinb. Journ. of Science. N. IX. 96. Eine andere auf theoretischen Gründen beruhende Formel s. unten E. b. 3.

allgemeine Formel gegründet, um aus dem Unterschiede der Barometerstände an zwei Stationen die zugehörige Differenz der Temperatur zu berechnen. Sie beruhet auf dem durch PLAYFAIR gegebenen analytischen Ausdrucke zum Messen der Höhen vermittelst des Barometers, und der von eben diesem herrührenden Bestimmung, dafs den Erfahrungen nach 81 Fathoms Erhebung 1° C. Wärmeabnahme geben sollen, wonach dann der Unterschied der Temperatur

$$\Delta t = 26\left(\frac{B}{b} - \frac{b}{B}\right)$$

für die Barometerstände B und b in Graden der Centesimalscale gefunden wird. TH. YOUNG meint, die Temperaturen nehmen schneller ab als die Höhen, und beruft sich dabei auf v. HUMBOLDT's Erfahrungen; allein IVORY sucht darzuthun, dafs RAMOND im Mittel 90 Fathoms für 1° C. gefunden habe, und da aus der sehr grofsen, durch GAY-LÜSSAC erreichten Höhe eine Temperaturdifferenz von 1° C. für 95 Fathoms folge, so ergebe sich hieraus gerade das Gegentheil[1].

10. Die Uebersicht der bisher mitgetheilten zahlreichen, aus den verschiedensten Versuchen entnommenen Bestimmungen ergiebt augenfällig, dafs die Frage über die Reihe, welche die Wärmeabnahme bei zunehmenden Höhen befolgt, schwerlich auf diesem Wege mit völliger Sicherheit bestimmt werden wird. Im Ganzen entscheiden indefs die meisten dafür, dafs die Höhen, welche gleichen Temperaturunterschieden zugehören, mit der Entfernung von der Erdoberfläche abnehmen, zur Bestimmung des eigentlichen, hierüber aufzustellenden Gesetzes sind aber noch weitere, unter folgende theoretische Untersuchungen erforderlich. Im Ganzen wird man sich indefs wenig von der Wahrheit entfernen, wenn man mit gehöriger Rücksicht auf die bedingenden Umstände für die auf Bergen zu erreichenden Höhen eine *arithmetische Reihe der Wärmeabnahme für gleiche Höhenunterschiede* annimmt. Nicht minder schwierig ist es zugleich, einen mittleren Werth derjenigen Höhe zu finden, welche einer gegebenen Temperaturdifferenz, etwa von 1° C., zugehört, indem die Uebersicht der verschiedenen Beobachtungen kaum eine solche allgemeine Bestimmung gestattet. Aufser den schon mitgetheilten mögen daher noch folgende allgemeine

1 Phil. Mag. 1825. Aug. p. 86.

Angaben dienen, die man vorkommenden Falls benutzen kann. v. HUMBOLDT[1] folgert aus allen seinen zahlreichen Beobachtungen zwischen den Wendekreisen, dafs 109 Tois. auf 1° R., also 87,2 T. oder 170 Met. auf 1° C. zu rechnen sind. Nach PICTET[2] dagegen folgt aus einer grofsen Reihe von Beobachtungen zu Genf und auf dem Hospitium des St. Bernhard bei einem Höhenunterschiede von 1075 Toisen und einer mittleren Temperaturdifferenz von 8°,18 R., dafs 131,4 T. auf 1° R. oder 105,1 T. = 204,8 Met. für 1° C. gehören. Eine dieser Bestimmung genäherte, nämlich 100 T. oder 200 Met. für 1° C. pafst wohl am besten für mittlere Breiten und mäfsige Erhebungen auf grofsen Bergmassen, wenn man das Mittel zwischen Sommer- und Winterbeobachtungen verlangt, oder man müfste jene Gröfse für den Winter rechnen, und DE SAUSSÜRE's Angabe gemäfs für den Sommer 100 T. für 1° R., also 80 T. = 156 Met. auf 1° C. rechnen. Hiermit stimmt D'AUBUISSON überein, welcher im Mittel 160 Met. = 82,1 Tois. für 1° C. annimmt.

v. ZACH[3] folgert aus den beobachteten, und nach LA PLACE's Methode berechneten, horizontalen Strahlenbrechungen für den Aequator nur 65 T., für unsere Breiten aber 89 T. Höhe auf 1° C. Temperaturdifferenz.

Auch RAMOND[4] erhielt als Mittel aus zahlreichen Beobachtungen nahe 100 T. für 1° R., also 80 T. = 156 Met. für 1° C. Wenn die Engländer meistens geringere Höhen angeben, wie schon oben aus DALTON's Bestimmung hervorgeht, so liegt die Ursache hiervon vielleicht darin, dafs die etwas höhere Temperatur jenes Landes mit den Erhebungen über die Oberfläche der Erde aufhört. PLAYFAIR[5] nämlich nimmt nur 76 T. für 1° C. an, und ATKINSON[6] aus einer Menge von Beobachtungen nur etwa 60 T. für die nämliche Temperaturdifferenz.

11. Wäre es möglich, ein genähertes Mittel aus den Beobachtungen zu erhalten, so würde folgen, dafs die Wärme vom

---

1 Reis. d. Ueb. II. 492.
2 Bibl. univ. X. 173. XIV. 19.
3 Mon. Cor. XXI. 113.
4 Sur la Formule barometrique. cet. Par. 1811. p. 184.
5 Outlines. cet. I. 251.
6 Brewster's Journ. N. VII. 180.

Aequator an gerechnet nach den Polen hin auf gleiche Weise abnehmen muſs, als wenn man sich unter dem Aequator befindlich zu einer angemessenen lothrechten Höhe erhebt, und man kann also von dort aus durch ein solches Aufsteigen zu allen Temperaturen gelangen, welche die Erdoberfläche darbietet. D'AUBUISSON[1] nimmt als Mittel aus den verschiedenen Beobachtungen an, daſs eine Erhebung von 100 Metern mit einer Vermehrung der Breite von einem Grade rücksichtlich der Temperaturverminderung correspondirt, wobei sich von selbst versteht, daſs nur von einer genäherten Bestimmung die Rede sey. Abgesehen von dieser Ungewiſsheit hat v. HUMBOLDT[2] seine oben erwähnte graphische Darstellung der isothermischen Linien sehr sinnreich mit einer ähnlichen verbunden, welche die Abnahme der Wärme bei zunehmender Höhe versinnlicht. Indem
Fig. 181. aber die Figur für sich verständlich ist, so übergehe ich eine weitere Erläuterung derselben, und bemerke nur, daſs hiernach der Nullpunct der mittleren Temperatur in 55° N. B. fällt, welches für die Erdoberfläche im Ganzen aus dem oben (C. 4.) angegebenen Gründen gewiſs weit richtiger ist, als wenn man die Temperatur Norwegens zur Regel annimmt. v. HUMBOLDT wählt aber eigentlich für seine Darstellung denjenigen Meridian, unter welchem die Cordilleren liegen, uud so ist seine Bestimmung wohl ohne Zweifel richtig[3].

b. Schneegrenze.

Indem die Wärme mit den Höhen abnimmt, so muſs es nothwendig eine Grenze in der Atmosphäre geben, wo die mittlere Temperatur = 0 ist, und wenn man dann ferner annimmt, daſs über diese Grenze hinaus die Menge des Winterschnees im Sommer nicht zu schmelzen vermöchte, insbesondere weil bei den mit der Höhe, abnehmenden Differenzen der täglichen und jährlichen Temperatur die Veränderungen dort sich nicht weit vom Gefrierpuncte entfernen würden, so muſs es in einer gewissen Entfernung über der Erde eine Grenzfläche geben, wo beständiger Schnee anzutreffen ist, und diese nennt man die Schneegrenze. Es ist ferner an sich klar, daſs die von v. Hum-

1 Traité de Geog. I. 482.

2 Mém. de la Soc. d'Arcueil T. II. Ann. Ch. P. T. V.

3 Mehreres hierüber s. unter *Schneegrenze.*

BOLDT angegebene äufserste isothermische Linie, welche der mittleren Temperatur von 0° zugehört, unter der angegebenen Voraussetzung diese Grenze bezeichnen mufs, und wird dann ferner angenommen, dafs die mittlere Temperatur unter denselben Graden der Breite und das Gesetz der mit der Erhebung über die Erdoberfläche abnehmenden Wärme überall gleich sey, so würde die elliptisch gekrümmte Grenzfläche des ewigen Schnees die Erde so umgeben, dafs sie unter dem Aequator in einer Höhe etwa von 5200 Meter anfangend sich nach den Polen zu herabsenkte, und in 50° der nördlichen und südlichen Breite in den Erdkörper einschnitte[1]. Allein es geht schon aus den vorigen Betrachtungen genugsam hervor, dafs hierbei verschiedene Voraussetzungen angenommen sind, welche in der Wirklichkeit nicht statt finden, und der Verfolg der Untersuchungen wird ergeben, dafs ein festes Gesetz für die Höhe der Schneegrenze wegen vielfacher örtlicher Einflüsse nicht aufzufinden ist. Fig. 181.

1. Die Schneegrenze liegt nicht in derjenigen Höhe, deren mittlere Temperatur =0 ist, sondern meistens höher, und zwar um so viel mehr, je weiter man nach den Polen kommt. Die Ursache hiervon ist leicht aufzufinden. Soll sich nämlich der Schnee bleibend erhalten, so ist es nicht hinreichend, dafs die mittlere Temperatur =0 sey, sondern die Wärme des Sommers mufs die mittlere Temperatur so wenig übertreffen, dafs sie denselben zu verzehren nicht vermag. Es mufs daher die Schneegrenze derjenigen Höhe, deren mittlere Temperatur =0 ist, so viel näher liegen, je weiter man sich von der Erdoberfläche erheben mufs, um an diesen Punct der Höhe zu gelangen, weil mit zunehmender Höhe die täglichen und jährlichen Differenzen nebst den Ursachen örtlicher Erwärmungen mehr verschwinden. Aufserdem aber wird mit zunehmenden Breiten die Schnee-

1 KIRWAN's unzulässige Annahme in: On the Variations of the Atmosphere. Dublin 1801. Ch. III. Sect. I. mag hier nur historisch erwähnt werden. Er setzt die Schneegrenze unter dem Aequator in 28000 engl. F., unter dem Pole in 3432 F., und bestimmt sie hiernach für alle Grade. Dividirt man die jedesmalige Höhe der Schneegrenze durch 100, so erhält man die Zahl der Schichten, deren Temperatur und Temperaturunterschiede leicht zu finden sind, da die Temperatur der Schneegrenze der Eispunct seyn soll. Indefs soll dieses blofs für den Sommer gelten, indem im Winter wärmere Luftschichten vom Aequator nach den Polen strömen. In wie fern das Ganze unhaltbar sey, ergiebt sich aus dem im Texte Gesagten.

grenze weiter über die Höhe der mittleren Temperatur von 0° C. hinaufgerückt werden, weil dort die längere Dauer der Tage die Sommerwärme ausnehmend vermehrt [1]. Hieraus ist es erklärlich, daſs nach v. Humboldt die Schneegrenze unter dem Aequator schon bei 0°,4 C., in gemäſsigten Zonen nach Pictet [2] bei — 4°,6 C. und in den nördlichen nach Humboldt [3] erst bei — 6° C. mittlerer Temperatur anfängt. Wird hiernach die oben erwähnte isothermische Höhen-Linie von 0° corrigirt, und rechnet man zwei Grade der Breite auf einen Grad der Temperaturverminderung, so kommt die Schneegrenze unter dem Aequator in 5200 Met. zu liegen, und schneidet auf beiden Halbkugeln in etwa 67 bis 70° der Breite ein. Hiermit kommt das Resultat von Cotte's [4] gehaltreichen Untersuchungen überein, wonach dieselbe auf der nördlichen Halbkugel in 70°, auf der südlichen aber in 65° der Breite die Erdoberfläche berührt.

2. Diejenige Temperatur, welche man in England, Norwegen und überhaupt in denjenigen nördlichen Gegenden beobachtet hat, welche unter und in der Nähe der Meridiane von Paris und Berlin liegen, können (nach C. 4.) keine Regel bilden, sondern müssen als Ausnahme gelten; man kann darauf kein allgemeines Gesetz gründen. Es ist daher nicht genau richtig, wenn Bedemar [5] meint, die Schneegrenze weiche um so vielmehr von ihrer Normalhöhe ab, je weiter man sich nach Norden entferne, denn die Beobachtungen in der Hudson's-Bay, auf Melville Island, am Ausflusse des Mac-Kenzie Flusses u. s. w. stimmen mit der Regel recht gut überein, nur die in Norwegen, auf Island und Spitzbergen nicht, welche aber als Ausnahmen gelten müssen.

3. Oertliche Einflüsse, insbesondere sehr groſse Bergmassen, ausgedehnte und hohe Bergebenen u. s. w. bedingen die die Höhe der Schneegrenze und rücken dieselbe weiter hinauf. Hieraus erklärt sich, warum dieselbe auf den Himlaya-Gebirgen und dem Kaukasus höher liegt, als unter gleichen Parallelen. Ob auch die Hochebenen Asiens und die Wüsten Africa's einen

1 Vergl. *Temperatur; isothermische Linien.*
2 G. XXV. 318.
3 Ann. Ch. Ph. XIV. 19.
4 J. d. Ph. LXVIII. 132. u. 222.
5 Reisen I. 242.

ähnlichen Einfluſs äuſsern, wie mindestens rücksichtlich der ersteren höchst wahrscheinlich ist, läſst sich aus Mangel an Beobachtungen nicht mit Sicherheit angeben.

4. Die Beobachtungen der verschiedenen Höhen, wo man die Schneegrenze wirklich angetroffen hat, sind mit einer seltenen Vollständigkeit zusammengestellt durch Hällström[1], weswegen ich diese hier mit den daselbst angegebenen Quellen mittheile. Man wird indeſs bald inne, daſs nach seiner Darstellung die Linien der Schneegrenze von America's und von Asien's hohen Gebirgsmassen ausgehend sich in der Hauptsache über den Schweizeralpen vereinigen, und dann über Norwegen hinlaufen, also gerade durch diejenigen nördlichen Gegenden, wo die isothermischen Linien am höchsten sind[2].

Oerter	Breiten	Höhen in F.	Beobachter
Cotopaxi *	von 1° 28′ S. bis 0° B.	15228	v. Humboldt[3]
Antisana *		14958	
Chimboraço *		14826	
Rucu-Pichincha *		14760	
Nevado del Corazon *		14748	
Pichincha	0° 10′ s	14700	Condamine[4]
Pichincha	0 0	14604	Bouguer[5]
Quito	0 0	14760	v. Humboldt[6]
Popayan	0 3 n	14580	v. Humboldt[7]
Mexico	19 0	14100	v. Humboldt[8]
Nevado Toluce	19 12	13776	v. Humboldt[9]
Mexico —	20 0	14166	v. Humboldt[10]

1 De Termino atmosphaerae terrestris nivali. Praes. Hällström, auct. Alcenius. Aboae 1823. 4.

2 Die Sternchen bei einigen Angaben beziehen sich auf eine unten folgende Bestimmung.

3 Ann. Ch. P. XIV. 1.

4 Journ. d'un Voy. à l'Équateur. Par. 1751. p. 48.

5 Figure de la Terre Par. 1749, in der beigefügten Voy. au Perou p. 49.

6 Essay sur la Géographie des Plantes. Par. 1807. p. 132.

7 Atlas géographique et phys. des Regions équinox. Par. 1814. Tab. 6.

8 Essay polit. sur le Royaume de la Nouv. Esp. Par. 1811. p. 45.

9 Recueil d'Observations astron. cet. Par. 1810. p. 329.

10 Essay sur la Géog. d. Plant. p. 133.

Oerter	Breiten	Höhen	Beobachter
Mexico Toluce	20° 0′	14100	v. Humboldt[1]
Himlaya *	30 0	11400	v. Humboldt[2]
Himlaya *	31 0	15660	
Altas *	31 0	11550	Ali-Bey[3]
Libanon *	33 0	9102	Wahlenberg[4]
Aetna *	37 33	9900	Saussüre[5]
Pic du Midi *	42 0	9036	Ramond[6]
Canigou	42 31	8718	Saussüre[7]
Pyrenaeen	42 45	8400	Humboldt[8]
Pic Long *		8700	Ramond[9]
Neuvielle *	43 0	8250	Ramond[10]
Elbrus	43 0	9882	Parrot[11]
Mont Perdu	43 0	8100	Wahlenberg[12]
Pyrenaeen *	45 0	7692	v. Humboldt[13]
Alpen	45 30	8520	L. Buch[14]
Alpen	45 30	8100	Saussüre[15]
Alpen *	46 0	8220	v. Humboldt[16]
Alpen	46 0	8220	Wahlenberg[17]
Carpathen	49 0	7998	Wahlenberg[18]
Carpathen *	49 10	7980	v. Humboldt[19]

1 Prolegomena de distribut. geogr. Plantarum. p. 139. G. XXV. 320.

2 Ann. Ch. P. XIV. 1. Nur genäherte Angaben.

3 G. Borg, Praes. Hällström de Term. atm. Terrae niv. Aboae 1823.

4 Ebend.

5 Voy. IV. 152.

6 Ann. Ch. P. II. 192.

7 Voy. IV. 150.

8 Proleg. de dist. geog. Plant. 122.

9 Ann. Ch. P. a. a. O.

10 Ebend.

11 Physik d. Erde. S. 174.

12 Bericht über Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der Lappländischen Alpen, übersetzt von Hausmann. Gött. 1812. S. 59.

13 Prolegom. a. a. O.

14 G. XI. 48.

15 Voy. IV. 154. Bei einzelnen Bergspitzen giebt er 1400 T. bei grofsen Bergmassen 1300 T. an, wovon 1350 T. = 8100 F. das Mittel ist.

16 Ann. Ch. P. XIV. 1.

17 De vegetat. Helvet. XLIV.

18 Flora Carpath. Gott. 1814. p. LXXIII.

19 Ann. Ch. Ph. XIV. 1.

Oerter	Breiten	Höhen	Beobachter
Norwegen	60° 0	4800	L. Buch[1]
Suletind	61 0	5220	
Snöhätta	62 0	5600	Wahlenberg[2]
Norwegen	62 0	5400	L. Buch[3]
Eliasberg. Amer.	62 0	4600	Wahlenberg[4]
Svuckustöt. Norw.	62 12	5250	Hisinger[5]
Norwegen	62 30	4860	L. Buch[6]
Syltopp	63 0	4950	Hisinger[7]
Åreskuta	63 26	4740	
—	—	4440	Hartmann[8]
Island	65 0	2896	Olafsen[9]
Schweden	66 30	4014	L. Buch[10]
Sulitelma	67 5	3100	Wahlenberg[11]
Valli. Schwed.	67 6	4100	
Talpa jegna. Norw.	67 20	3000	
Alten	70 0	3300	L. v. Buch[12]
Hammerfest	70 38	2502	
Nordcap	71 0	2202	

5. Es würde nicht schwierig seyn, wenn man wollte, die grofse Zahl der hier mitgetheilten Beobachtungen noch um nicht eben wenige zu vermehren. So wurde unter andern die Schneegrenze gefunden[13].

---

1 G. XI. 11.

2 Bericht üb. Mess. S. 58.

3 G. LV. 319. LXI. 373.

4 Bericht. S. 57.

5 Anteckningar i Physik och Geognosie under resor i Sverige och Norrige. Ups. 1819. St. 1. S. 21. St. 2. S. 45.

6 G. XI. 43.

7 a. a. O.

8 Wetenskaps Academiens Handlingar. Stockh. 1814. S. 107. 1818. S. 131.

9 G. XI. 37. XXIV. 319.

10 Ebend.

11 Bericht u. s. w. S. 26; 36; 48.

12 G. XI. 27; 32.

13 Ann. Chim. et Phys. XIV. 1.

Beob. Ort	Breite	Höhe	Beobachter
Purace	2° 17′	14484	v. Humboldt
Paramo de Guanacos	2 40	14280	derselbe
Popocatepetl	18 19	14226	v. Sonnenschmidt
Iztaccihuatl	19 10	14130	Alzate
Neu-Mexico	38 30	9180	Edwin James[1]
Mont-Perdu	43 0	7881	Parrot[2]
Maladetta Nordseite	42 45	8256	derselbe[3]
— Südseite	— —	9380	derselbe[4]

Es sind indeſs der Thatsachen genug angegeben, um sich zu überzeugen, wie groſs der örtliche Einfluſs auf die Höhe der Schneegrenze ist. Selbst die Lage der Höhen und ihre Richtung nach den Weltgegenden hat auf die Schneegrenze einen Einfluſs und v. Welden[5] meint sogar, sie sey in verschiedenen Jahren verschieden. So fand er sie an der Südseite des Monte Rosa 9500 F. hoch, in Salzburg 8000 F. in Südtirol 8200 F. im Valteline 8500 F. am Simplon 8600 F. in Savoyen 8800 F. hoch.

Auch Parrot[6] fand in den Pyrenäen einen bedeutenden Unterschied zwischen der Nordseite und der Südseite, und setzt die Schneegrenze auf jener schwankend zwischen 7388 und 8000 P. F. auf dieser dagegen zwischen 8000 und 9236 P. F.

Daſs sie ferner in nördlichen Gegenden in sehr heiſsen Jahren wirklich höher hinaufrücke, unterliegt wohl keinem Zweifel, auch nimmt man eine *untere* Schneegrenze an, wo der Schnee sich in einigen Jahren, und eine *obere*, wo er sich beständig erhält.

Dabei ist aber wohl zu berücksichtigen, daſs der Schnee durch die steigende Sommerwärme allmälig schmelzt, folglich wird man ihn in den ersten Sommermonaten noch an den Orten finden, wo er später verschwindet. Im Herbste dagegen fällt ebendaselbst am frühesten Schnee, und diese Zeit ist daher zur Bestimmung der Schneegrenze gleichfalls nicht geeignet. Parrot[7] glaubt deswegen der September sey der für

1 v. Humboldt Voyage. T. X. p. 97.
2 Naturwiss. Abh. aus Dorpat. I. 228.
3 Ebend. S. 273.
4 Ebend. S. 297.
5 Der Monte Rosa u. s. w. Wien 1824.
6 Naturwissenschaftl. Abhandl. aus Dorpat. Berl. 1823. I. 316.
7 a. a. O. S. 250.

diese Bestimmung in mittleren Breiten am meisten geeignete Monat, weil der Schnee, welcher sich dann noch vorfinde, der Einwirkung der Sommerhitze während ihrer ganzen Dauer zu trotzen vermöge.

Dafs dieses auch in solchen Höhen geschehen könne, wo die Lufttemperatur oft den Gefrierpunct übersteigt, ist daraus leicht erklärlich, dafs die Sonnenstrahlen von den Schnee- und Eislagen reflectirt werden, die Luft aber vermöge ihrer geringen relativen Wärme auf das Eis keinen bedeutenden Einflufs haben kann.

6. Aus der Uebersicht dieser allerdings schätzbaren Zusammenstellung ergiebt es sich, wie mich dünkt, sehr klar, dafs die Abweichungen von einer festen Regel viel zu grofs sind, als dafs sich ein bestimmtes Gesetz darauf gründen liefse. Inzwischen hat Hällström mit vieler Mühe eine allgemeine Formel aus allen angegebenen Beobachtungen entwickelt, mit Ausnahme derjenigen, welche mit einem Sternchen (*) bezeichnet sind. Er nennt nämlich die Höhe der Schneegrenze A, und setzt

$$A = a + b \text{ Sin. lat.} + c \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

Aus den Beobachtungen findet er mit Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate die beständige Gröfse a = 2462,4 Toisen und die Coëfficienten b = 293 und c = —2501,8, so dafs sonach

$$A = 2462{,}4 + 293 \text{ Sin. lat.} - 2501{,}8 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

wird. Den wahrscheinlichen Fehler findet er dann = 63,5, und hält diese Fehlergrenze noch für zu grofs. Wenn man indefs nicht selten Differenzen findet, welche mehr als 1000 F. betragen, so scheint die oben aufgestellte Behauptung, dafs ein allgemeines Gesetz auf die bekannten Beobachtungen zu gründen unmöglich sey, völlig gerechtfertigt. Hällström nimmt zugleich auf örtliche Einflüsse Rücksicht, und meint, dafs unter dieser Bedingung auch die im nördlichen America angestellten Beobachtungen und die auf den Himlaya-Gebirgen mit der Formel vereinbar wären. Nach Tob. Mayer hat man angenommen, die Schneegrenze berühre den Nordpol. Gay-Lüssac[1] bemerkt mit Recht, dafs die neuesten Beobachtungen, namentlich von Scoresby, gezeigt hätten, dafs diese Annahme unzulässig sey, Hällström aber meint, dafs seine Formel, wonach die Schneegrenze 253,6 Toisen über den Pol erhaben seyn

1 Ann. Ch. Ph. XXVII. 435.

müfste, der Natur noch näher komme. Letzteres ist indefs den Beobachtungen durchaus zuwider, denn man kann auch für die günstigste Localität das Einschneiden der Schneegrenze in die Erdoberfläche nicht weiter hinaufrücken, als bis an die Nordspitze von Spitzbergen, also etwa unter den 80sten Grad der nördlichen Breite. Hällström meint ferner, dafs die oben angegebene Formel von Tob. Mayer für die mittlere Temperatur auch zur Bestimmung der Schneegrenze dienen könne; welches auch allerdings der Fall seyn müfste, wenn beide, sowohl die mittlere Temperatur als auch die Höhe der Schneegrenze durch das nämliche Gesetz der Wärmeabnahme bedingt wären. Nimmt man nämlich die Formel

$$y = m - n \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

und bestimmt die Temperatur, bei welcher die Schneegrenze anfängt, und deren Höhe über der Meeresfläche, so wird

$$y' = M y = M (m - n. \text{ Sin.}^2 \text{ lat.})$$

vorausgesetzt, dafs nach D'Aubuisson[1] die Wärme für 160 Meter Erhebung um 1° C. abnimmt, und setzt man die mittlere Temperatur unter dem Aequator = 27° C., so macht 160 × 27 = 4320 Met. als die Höhe der Schneegrenze unter dem Aequator. Weil aber die Schneegrenze durch den Einflufs der Berge und Bergebenen 3° C. unter 0° erfordert, so müssen 3 × 160 = 480 Meter, oder in runder Zahl 500 hinzugesetzt werden, wonach also

$$H = 4320 \text{ Cos.}^2 \text{ lat.} + 500$$

die Höhe der Schneegrenze in Metern giebt. Hällström benutzt ferner diejenigen Beobachtungen, womit auch d'Aubuisson seine Formel verglichen hat, und findet für die Höhe der Schneegrenze in Metern:

Beob. Ort	Beobachter	beobachtet	berechnet
Aequator	Bouguer	4800	4820
Wendekreis	Humboldt	4100	4133
Indien	Webb	3520	3527
Alpen	Saussüre	2700	2785
Polarkreis	L. Buch	1169	1160
70° N. B.	L. Buch	1060	1005

Allein man sieht bald, dafs hier gerade passende Beobachtungen ausgesucht sind, und d'Aubuisson gesteht selbst zu, dafs

1 S. oben.

wegen örtlicher Einflüsse kein allgemeines Gesetz aufzufinden sey. Nach dieser Formel würde übrigens die Schneegrenze vom Pole ohngefähr eben so weit abstehen, als nach Hällström's oben angegebener, weil sie die mittlere Temperatur am Pole = 0 annimmt.

Obgleich also hiernach keine allgemeine Construction der Schneegrenze möglich ist, so habe ich doch zur Versinnlichung Fig. diejenigen drei durch punctirte Linien angegeben, welche bis- 181. her erwähnt sind, nämlich diejenige, welche nach der allgemeinsten Gröſse der Erdwärme in 70° N. B. einschneidet, diejenige, welche etwa für den Meridian von Paris gehört, wenn man annimmt, daſs sie in 80° N. B. einschneidet, und diejenige, welche Hällström's Formel entspricht.

7. Die auffallendsten Abweichungen von einer regelmäſsigen Höhe der Schneegrenze bieten die Beobachtungen im Kaukasus und noch weit mehr die auf den Himlaya-Gebirgen dar, und sie eignen sich allerdings zu einer besonderen näheren Erörterung. Dort fanden nämlich Engelhardt und Parrot auf dem Kasbeck die Höhe derselben 9884 F., also 1500 bis 1800 F. höher, als sie unter gleichen Breiten in den Alpen und Pyrenäen gefunden wird. Dieses ist allerdings viel; allein wenn man fragt, ob die Höhenbestimmungen in den Pyrenäen auch hinlänglich genau sind, insbesondere aber wenn man sie mit der durch v. Welden am Mont Rosa beobachteten Höhe der Schneegrenze von 9500 F. vergleicht, so hört der Unterschied auf sehr beträchtlich zu seyn, und läſst sich aus den Luftströmungen von den ausgedehnten Hochebenen Asiens ohne groſse Schwierigkeit erklären. Weit weniger leicht ist dieses der Fall bei den Abweichungen in den Himlaya-Gebirgen, welche v. Humboldt deswegen zum Gegenstande einer ausführlichen Untersuchung gemacht hat[1]. Das Merkwürdige der Sache findet dieser Gelehrte nicht bloſs in der gröſseren Höhe der Schneegrenze überhaupt, sondern hauptsächlich auch darin, *daſs die Nordseite der dortigen Gebirgsmasse ungleich wärmer ist, als die Südseite.* Webb fand zwischen 30° 25′ und 31° 15′ N. B. im Sommer gute Weiden und lebhafte Vegetation auf der Nordseite des Himlaya in 14004 F. und an der Südseite in 11980 F. Höhe. Die letztere weicht wenig von der Regel ab, denn die

1 Ann. Chim. et Ph. XIV. 1 ff.

Schneegrenze ist in America unter 30° N. B. in 11400 F. Höhe, und da beim Tempel Kedarnath der Schnee in 11250 F. sich bis in den Anfang des Juli erhielt[1], so kann man die unterste Schneegrenze auf etwa 11700 F. setzen. Nach Hamilton's Beobachtungen in Kathmandu in 27° 41′ N. B. ist die mittlere Temperatur in 4536 F. Höhe = 16°,9, die der Quellen = 17°,7, welches gleichfalls vom Gewöhnlichen nicht abweicht. Es gehören nämlich nach v. Humboldt in Gemäſsheit der *bandes isothermes* für 27° 41′ N. B. 23°,3 mittlere Temperatur. Rechnet man nun für die ersten 1000 Meter Erhebung 170 Meter für einen Grad C., so müſste die Temperatur in Kathmandu 23°,3 — 8°,6 = 14°,7 statt 16°,9 seyn, und so glaubt er die 2°,2 Unterschied aus der Wärmestrahlung erklären zu können.

Je näher indeſs v. Humboldt die Temperatur auf jenen hohen Bergen betrachtete, um so auffallender fand er den Unterschied von der gewöhnlichen Regel. Webb hielt sich vierzehn Tage auf dem Passe des Niti auf, wohin er sich von Kedarnath aus begeben hatte. Die Höhe desselben, barometrisch nach La Place's Formel gemessen, beträgt 15630 F. In dieser ungeheuern Höhe, worin die Erde unter dem Aequator selbst mit ewigem Schnee bedeckt ist, fand er unter 31° N. B. keine Spur desselben, und sogar die 300 F. über den Paſs hervorragenden Spitzen frei davon. An der Nordseite des Passes, 14004 F. hoch, auf den Abhängen von Sutledge, fand er Pappeln und Tamarisken 8 F. hoch, Weideplätze und Kornbau. Zu bewundern ist, wie das Korn dort reift, da nach Moorcraft der Sommer erst in der Mitte Juni anfängt und Mitte August's endigt, denn den 28sten Aug. bei — 1°,7 gefror Eis zu 2 Z. dick[2]. Daſs groſse Gebirgsebenen die Temperatur modificiren, ist bekannt, und im Allgemeinen erhöhen sie dieselbe, wie sich dieses in Huancavelica, Micuipampa, Quito, Caxamarca, Sta. Fe de Bogota und Mexico zeigt, wo es viel milder ist, als in glei-

1 Diese Bestimmung scheint mir sehr unsicher. Auf dem Brocken dauert der Schnee in Vertiefungen zuweilen das ganze Jahr hindurch, aber dennoch ist die dortige Höhe weit unter der Schneegrenze. Auch nach Parrot's oben No. 5. mitgetheilten Bemerkung ist der Monat Juli noch zu früh, um über die Schneegrenze mit Sicherheit zu bestimmen.

2 Daſs die auſserordentliche Kraft der Sonnenstrahlen auf hohen Bergen dieses schnelle Reifen der Früchte befördere, ist wohl nicht zu bezweifeln. Vergl. unten Theor. Betracht. E. 4. a.

cher Höhe an den Abhängen der Cordilleren. Da aber diese Wirkung in den Anden nicht mehr als 1°,5 bis 2°,3, hier aber sogleich mehr beträgt, so müssen durchaus besondere Ursachen diese ungewöhnliche Erscheinung herbeiführen. Der Unterschied ist nämlich so bedeutend, daſs mindestens gerechnet die Schneegrenze 3300 F. höher liegt, als sie der Regel nach liegen müſste. Im Mittel sollte sie nämlich unter 30° N. B. 11500 F. hoch seyn, statt dessen ist sie aber erst bei 15100 F., und im Sommer fand sich sogar in 15630 F. Höhe kein Schnee, vielmehr gehen Viehweiden und Kornbau bis 14000 F. hinauf, und Gerard fand die höchste Pflanze, eine geruchlose Art Salbei erst in 15952 F. Höhe[1].

Als Ursachen dieser Abweichung von einer sonst so allgemein begründeten Regel nennt v. Humboldt zuerst die durch mehrere Ursachen erzeugte höhere Temperatur der Sommer, indem er annimmt, daſs in jenen Gegenden, wo die *isothermischen* Linien nicht ausgezeichnet hoch hinaufgehen, die *isotherischen* dagegen eine merklich gröſsere Höhe erreichen[2]. Ausgemacht ist nämlich, daſs die Hitze der Sommer, welche vorzüglich das Reifen der Früchte bedingt, den Graden der Breite keineswegs direct proportional ist. Unter andern hat Moscow gleich heiſse Sommer als manche Gegenden am Ufer der Loire, ohngeachtet eines Breitenunterschiedes von 11 Graden, und Ungarn verdankt die Güte seiner Weine hauptsächlich der groſsen Sommerhitze ohngeachtet seiner oft und in der Regel sehr kalten Winter. Allein die Ursachen, welche die Wärme der Sommer bedingen, scheinen mir auf diejenigen Oerter nicht anwendbar zu seyn, welche in so groſsen Höhen über der Meeresfläche liegen, wo doch im Winter eine bedeutende Menge Schnee fällt, und zu ewigen Gletschern verhärtet wird, von denen die zur Erzeugung einer hohen Sommerwärme erforderlichen Sonnenstrahlen zurückgeworfen und dadurch unwirksam werden, deren Nähe dann die Wärme zugleich bedeutend herabdrückt. Die ungeheuren Eislagen auf den höchsten Spitzen der Himlaya-Gebirge sind aber zu bekannt, als daſs sie unberücksichtigt bleiben dürften. Einen zweiten Grund findet v. Humboldt in der Masse und Gruppirung der Berge. Groſse Pla-

1 Brewster's Journ. I. 45.
2 Vergl. *Temperatur*.

teau's sollen nämlich zwar bei Nacht mehr Wärme durch freie Strahlung verlieren, dafür aber bei Tage mehr durch Entbindung erhalten. Inzwischen sollte man glauben, dafs diese beiden entgegengesetzten Wirkungen sich einander ausgleichen müfsten, ja wenn kein bestimmter Grund vorhanden ist, der letzteren ein Uebergewicht beizulegen, so könnte man nicht mit Unrecht hieraus auch das Gegentheil folgern. Drittens sollen auch die Wolkenschichten, welche zwischen der Erde und der Schneegrenze liegen, und durch Verschluckung des Lichtes viele Wärme anziehen, einen Einfluſs haben. v. Humboldt beruft sich hierbei auf d'Aubuisson[1], welcher aber an dieser Stelle einen solchen Satz nicht eigentlich aufstellt, und setzt dann hinzu, dafs eine dicke Wolkenschicht an den Cordilleren in 1000 bis 2000 Metern Höhe eine gröfsere Kälte der höheren Regionen dadurch erzeugt, dafs sie die Wärmestrahlung der Erde aufhält. Soll aber dieses Argument Gültigkeit haben, so mufs zuvörderst erst dargethan werden, dafs gröfsere, ausgedehntere und längere Zeit sich erhaltende Wolkenschichten die unteren Regionen der Cordilleren begrenzen, als das Himlaya-Gebirge. v. Humboldt ist allerdings am ersten im Stande, diese Frage zu beantworten, indefs finde ich nicht, dafs er in seinen Beschreibungen diesen Gegenstand vorzüglich hervorhebt, vielmehr redet er viel von der Klarheit des dortigen Himmels, und da es unter andern bekanntlich in Lima gar nicht regnet, so ist ein bedeckter Himmel dort nicht vorauszusetzen; die periodischen Regen aber sind in Asien eben so stark als in America, wie namentlich die ungeheuern Gangesschwellen beweisen. Wollte man ferner annehmen, dafs der Wasserdampf der von dem Meere herkommenden Luftschichten an den asiatischen Gebirgen stärker niedergeschlagen würde, als an den americanischen, um hierdurch stärkere Wolken zu erzeugen, so würde dieses eben eine niedrigere Temperatur der asiatischen höheren Luftschichten anzeigen, als der americanischen, alle übrigen Bedingungen gleichgesetzt, wovon aber gerade das Gegentheil statt findet. Man sieht hiernach wohl ein, dafs die erforderlichen Thatsachen fehlen, um dieses Argument genau zu würdigen, dafs es aber aus vielen Gründen nicht hinreicht, das vorliegende Phänomen genügend zu erklären. Ein vierter Grund

---

1 Traité de Géog. I. 435.

welchen v. Humboldt gleichfalls erwähnt, dafs nämlich horizontale Luftströmungen sowohl Kälte als Wärme herbeiführen, soll wohl nur im Allgemeinen die Unterschiede der Temperaturen an verschiedenen Orten zu erklären dienen. Zur Erklärung der abnormen Erscheinungen am Himlaya-Gebirge führt er aber zwei bestimmte Ursachen an, nämlich erstlich die grofse Hitze Asiens, und zweitens die Wärmestrahlungen einer überaus grofsen Ebene (der Hochebene zwischen dem Himlaya und Altai) woran die Berge gelehnt sind.

Was das erste Argument betrifft, so scheint mir die höhere Temperatur Asiens keineswegs völlig entschieden, wenigstens haben v. Humboldt's isothermische Linien unter 30° N. B. und 80 Grad östlicher Länge von Paris, wohin jene Gegenden fallen, keine bedeutende Convexität, obgleich sie höher heraufgehen, als in America. Gesetzt aber Asien hätte hier und überall eine gröfsere Wärme, so müfsten zuvor die *Ursachen* hiervon beigebracht werden, denn das ist ja eben die zu erklärende Aufgabe. Das zweite Argument ist dagegen allerdings gewichtiger. Man darf es nämlich als ausgemacht ansehen, dafs zwischen den beiden genannten grofsen Gebirgsmassen eine ungeheure Hochebene liegt[1], deren Höhe zwar nicht bestimmt ist, die wir aber nach manchen Wahrscheinlichkeitsgründen für sehr bedeutend halten müssen. Dabei ist aber vorher die Frage zu beantworten, auf welche Weise eine solche erwärmend auf die angrenzenden Berge wirkt. v. Humboldt sagt durch Wärmestrahlung. Bekanntlich versteht man unter der Wärmestrahlung des Erdbodens das Ausströmen der Wärme gegen den heiteren Himmel, und diese soll nicht vorhanden seyn, wenn Wolken denselben bedecken. Hier müfste also eine solche Strahlung gegen einen dunkelen Körper, die hohen Himlaya-Gebirge, statt finden, welches an sich mit jener Bedingung der Heiterkeit des Himmels im Widerspruche steht. Nimmt man hinzu, dafs man wegen der Krümmung der Erde die Himlaya-Gebirge auf jenen Hochebenen gar nicht sieht, so müfste zur Erklärung der genannten Erscheinung eine Wärmestrahlung angenommen werden, deren Richtung anfangs mit der Oberfläche der Erde parallel wäre, und zu deren Annahme kein denkbarer Grund vorhanden ist. Wollen wir uns also nicht durch das beliebte Wort:

Fig. 180.

1 S. unten VII. C. 6.

Wärmestrahlung, täuschen lassen, so muſs ein anderer, mit anderweitigen Naturgesetzen harmonirender Grund gesucht werden, und dieser scheint mir darin zu liegen, daſs über der ausgedehnten, noch obendrein wüsten, Hochebene Asiens durch die Einwirkung der Sonne mehr Wärme entbunden wird, welche die Temperatur der darüber ruhenden Luftschicht erhöhet, und dadurch bewirkt, daſs die nördlichen Winde eine wärmere Luft herzuführen, mithin ungleich weniger abkühlen, als sonst der Fall zu seyn pflegt, und dieses ist auch eigentlich dasjenige, was v. Humboldt unter seinem Ausdrucke verstanden wissen will. Dabei ist es indeſs merkwürdig, daſs über jenen Wüsten eine so schneidend kalte Temperatur herrscht, daſs zuweilen während der Nacht die Pferde der Caravanen sterben, und daſs insbesondere im Winter die Kälte ganz unerträglich ist. Obgleich dieses richtig ist, so muſs doch auf der andern Seite zugleich erwogen werden, daſs bei Tage in den Strahlen der Sonne die Hitze erweislich einen sehr hohen Grad erreicht, wodurch warme Luftschichten in die Höhe steigen, und durch Strömungen, deren Richtung hauptsächlich von Norden nach Süden geht, den Himlaya-Gebirgen zuflieſsen, weswegen gerade die Nordseite die höchste Temperatur hat[1].

Hierdurch wird anscheinend die Beobachtung genügend erklärt, bei genauerer Prüfung zeigt sich aber, daſs bei weitem nicht alle Schwierigkeiten beseitigt sind. Um nur einige derselben namhaft zu machen, möge Folgendes dienen. Es läſst sich zuerst fragen, warum nicht über minder hohen Ebenen gleichfalls eine gröſsere Menge Wärme entbunden wird, und die von da aufsteigenden warmen Luftschichten nicht eine gleiche Wirkung hervorbringen. Die Ebenen des östlichen Theils von Südamerica, die Gegenden um den Orinoco und Amazonenfluſs sind gleichfalls von ungeheurer Ausdehnung und der brennenden Sonnenhitze ausgesetzt, warum bringen die von ihnen aufsteigenden warmen Luftschichten, welche ohnehin durch die re-

1 Es erklärt sich aus aërostatischen Gesetzen und aus der schlechten Wärmeleitung der Luft sehr leicht, daſs bei nächtlicher Erkaltung des Bodens nur die zunächst damit in Beruhrung stehenden Luftschichten gleichfalls abgekühlt werden, ohne daſs die höheren erwärmten herabsinken. Die Richtung der Luftströmungen kommt dabei gleichfalls in Betrachtung. Ueber die Ursachen des Erkaltens bei Nacht s. *Temperatur*.

gelmäſsige östliche Luftströmung fortgeführt werden könnten, auf die nächsten Hochgebirge nicht eine gleiche Wirkung hervor? Noch mehr aber: Spanien ist nur durch einen schmalen Meeresstrich von den ungeheuern africanischen Sandebenen getrennt, warum liegt auf dessen Hochgebirgen die Schneegrenze nicht ungewöhnlich hoch? ja was noch auffallender erscheinen muſs, warum liegt sie niedriger, als im Kaukasus. Doch nicht bloſs der Zweifler, sondern jeder eifrige Forscher muſs noch auf eine Menge Dunkelheiten ganz anderer Art stoſsen, welche sämmtlich dazu auffordern, dieses schwierige Problem der Physik der Erde einer genauen Erörterung zu würdigen, und seine Erklärung auf wohlbegründete Theorie und Erfahrung zu bauen.

c. Kälte der Polargegenden.

Die ausnehmend hohe Kälte der Polargegenden ist oben nachgewiesen, und da aus den nachfolgenden theoretischen Betrachtungen hervorgehen wird, daſs die Wärme der Erde überhaupt eine Folge ihrer ursprünglichen Wärme und des Einflusses der Sonnenstrahlen ist, so fragt sich allerdings, wie jene hohe Kälte hiermit in Einklang zu bringen sey. War die Erde ursprünglich heiſs, so muſste ihre Temperatur unter den Polen derjenigen unter dem Aequator gleich seyn, und man muſs daher annehmen, daſs die dort vorhandene Wärme entweder durch noch unbekannte Ursachen gebunden wurde, oder sich in den Raum zerstreuete, oder endlich nach den tropischen Gegenden hingezogen wurde. Da diese Untersuchung übrigens geradezu in das Gebiet der Hypothesen führt, und obendrein von der noch nicht fest begründeten Voraussetzung einer ursprünglich hohen Temperatur der Erde ausgeht, so kann sie hier nicht füglich weiter verfolgt werden.

Leichter scheint es auf den ersten Blick, das Fortdauern der einmal vorhandenen groſsen Kälte der Polargegenden zu erklären, wenn man annimmt, daſs die Wärme der Erdoberfläche und der sie unmittelbar berührenden Luftschicht eine Folge der auffallenden Sonnenstrahlen sey, deren Wirkung man dem Quadrate des Cosinus der Breite proportional setzt. Einige haben zwar die Wärme, welche in sehr hohen Breiten durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen insbesondere bei der langen Dauer der Tage erzeugt wird, sehr hoch angeschlagen, und sich dabei auf einige unzweideutige Erfahrungen berufen; insofern

aber die geringere Intensität der durch dieses Mittel erregten Wärme im Allgemeinen nicht füglich bezweifelt werden kann, es sich daher zunächst nur um die Stärke der Wärmeentbindung durch die Sonnenstrahlen handelt, in Beziehung hierauf aber Theorie und Erfahrung im Artikel *Wärme* vollständiger entwikkelt werden muſs, so ist am besten, hierauf zu verweisen. So viel wird indeſs auch ohne dieses leicht klar, daſs der lange Winter und der damit gänzlich fehlende Einfluſs der Sonnenstrahlen die Bildung einer bedeutenden Menge von Eis bewirken muſs, dessen Menge, je gröſser sie wird, nicht bloſs den nachherigen Einfluſs der Sonnenstrahlen aus bekannten Gründen zu schwächen, sondern auch mannigfache Bedingungen herbeizuführen vermag, durch welche der daselbst herrschende Grad der Kälte allmälig sehr gesteigert werden konnte, bis der gegenwärtige bleibende Zustand herbeigeführt war.

E. Theoretische Betrachtungen.

Diejenigen Fragen, welche der Theorie der Erdtemperatur zu beantworten vorliegen, sind erstlich: woher hat die Erde ihre Wärme ursprünglich erhalten, und zweitens welche Ursachen bedingten früher und bedingen noch jetzt ihren thermometrischen Zustand. Obgleich diese Aufgabe im höchsten Grade interessant ist, und ihre Untersuchung in einer physikalischen Abhandlung über die Erde durchaus nicht fehlen darf, so ist es doch unmöglich, sie hier im ganzen Umfange zu behandeln. Hierzu fehlen nämlich theils eine Menge Thatsachen, welche erst unter dem Artikel *Temperatur* ausführlich mitgetheilt werden können, theils verschiedene theoretische Bestimmungen aus der Wärmelehre. Diesemnach können hier nur einige allgemeine Sätze beigebracht werden.

1. Die Frage, woher die Erde ursprünglich ihre Wärme erhalten habe, liegt ganz im Dunkeln, und dieses muſs um so mehr der Fall seyn, als[1] wir die Temperatur des Erdkernes nicht mit Gewiſsheit kennen. Insofern es aber wahrscheinlich ist, daſs im Innern der Erde Glühhitze herrscht, hat Fourier's Hypothese am meisten für sich, wenn er annimmt, daſs die Erdmasse ursprünglich im Zustande dieser Glühhitze in den tief

1 Vergl. oben A.

kalten Weltraum geschleudert wurde, und hier allmälig bis zu ihrer jetzigen Temperatur erkaltete. Woher dieselbe aber gekommen sey, und aus welcher Quelle sie diese ihre eigenthümliche Wärme genommen habe, kann aus sicheren Thatsachen nicht beantwortet werden, und bloſse Hypothesen hierüber gehören nicht hierher. Das Einzige, was als analoge Erscheinung angeführt werden kann, ist dieses, daſs die noch jetzt muthmaſslich aus dem Weltraume auf der Erde anlangenden meteorischen Massen im Zustande der stärksten Glühhitze und der Schmelzung durch Feuer, wenn nicht gar einer Art von Dampfform, in der Atmosphäre der Erde anlangen. Will man also mit einigen Physikern annehmen, daſs die ganze Erde aus einer Menge solcher Massen zusammengesetzt sey[1], so wären mindestens diese beiden Phänomene mit einander in Harmonie. Ob endlich der Raum, worin sich die Erde befindet, ein absolut kalter sey, oder wie Fourier annimmt, eine gewisse Wärme besitze, bleibt vorläufig hypothetisch.

2. Es folgt aus den oben mitgetheilten Thatsachen, daſs die Temperatur der äuſseren Erdrinde in etwa 50 bis 60 T. unter der Oberfläche eine constante Gröſse ist, die sich in meſsbaren Zeiträumen nicht ändert. Durch diese hindurch nimmt die Erde weder Wärme von Auſsen an, noch dringt solche von Innen heraus, nämlich in der Art, daſs die Wärme der Erde im Ganzen dadurch eine Veränderung erlitte. In den nächsten Schichten über dieser Grenze hören die jährlichen Veränderungen der Temperatur gleichfalls auf, es herrscht daselbst eine gewisse mittlere, durch Jahrhunderte und Jahrtausende allmälig bestimmte, welche der jetzigen mittleren der Oberfläche nahe gleich ist. Wir können beide hier unberücksichtigt lassen, da die Ursachen sich von selbst ergeben, wodurch diese Schichten allmälig zu diesem Temperaturzustande gelangten.

3. Sonach kommt also zunächst nur die Temperatur der Erdoberfläche und der Atmosphäre in Betrachtung, mit beiläufiger Berücksichtigung der täglichen und jährlichen Veränderungen derselben. Man ist von jeher darüber einig gewesen, diese vom Einflusse der Sonnenstrahlen abzuleiten, und setzte die Gröſse ihrer Wirkung der Menge der auffallenden Strahlen und der Richtung derselben proportional, mit Rücksicht auf die ver-

---

1 S. *Geologie.*

schiedenen, die individuellen Ortstemperaturen bedingenden Ursachen. Ohne hier zu untersuchen, auf welche Weise die Sonnenstrahlen Wärme zu erzeugen vermögen[1], entscheiden die Beobachtungen ganz bestimmt für die Richtigkeit dieser Voraussetzung. Keiner hat indeſs in den neuesten Zeiten diesen Gegenstand ausführlicher und gründlicher behandelt, als Fourier. Nach diesem[2] giebt es drei Ursachen der äuſseren Erdtemperatur, erstlich die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen, zweitens die im Weltraume noch vorhandene Wärme und drittens der Rest der ursprünglichen Erdwärme. Untersucht man diese einzeln, so läſst sich im Wesentlichen Folgendes darüber sagen.

a. Rücksichtlich der Wärmeerregung durch die Sonne nimmt man seit den gehaltreichen Untersuchungen, welche Wells über die Erscheinungen des Thauens angestellt hat[3], fast ganz allgemein an, daſs die Sonnenstrahlen bei Tage von der Erdoberfläche absorbirt und in Wärme umgewandelt werden, letztere aber, deren Menge hiernach stets zunehmen müſste, sich bei Nacht durch Strahlung gegen den heiteren Himmel wieder verliere[4]. Gegen diese Hypothese habe ich schon früher[5] aus verschiedenen Gründen einige Zweifel erhoben, welche ich am geeigneten Orte mittheilen werde. Hier möge nur die einzige Bedenklichkeit erwähnt werden, daſs dieselbe gänzlich unstatthaft ist, sobald man die Newton'sche Vorstellung vom Lichte verläſst, und zur Undulationstheorie übergeht, welches Argument gegenwärtig um so gewichtiger ist, je zahlreicher die Menge der Anhänger wird, welche die letztere in den neuesten Zeiten erhalten hat.

---

1 Vergl. *Wärme; Erregung derselben durch die Sonnenstrahlen.*

2 Théorie analytique de la Chaleur. Par. 1822. 4. Discours prélim. Ann. Ch. et Ph. XXVII. 136.

3 Vergl. *Thau.*

4 Da der Gegenstand hier nicht in seinem ganzen Umfange zur Untersuchung kommen kann, so beziehe ich mich nur auf Fourier Théorie de la Chal. p. IV. wo es heiſst ... et pénétrant dans la masse du globe, ils en éléveraient de plus en plus la température moyenne, si cette chaleur ajoutée n'était pas exactement compensée par celle, qui s'échappe en rayons de tous les points de la superficie, et se répand dans les cieux.

5 Im Prorectorats-Programme: Sacra natalitia die XXII. Nov. celeb. renunt. G. W. Muncke. Heidelb. 1819. 4.

Abgesehen von dieser Aetiologie der Erscheinung ist die Sache an sich wohl unbezweifelt richtig, nämlich daſs die Erwärmung der Erdoberfläche im Allgemeinen nebst dem Wechsel der täglichen und jährlichen Temperaturen an den verschiedenen Orten aus der Wirkung der Sonnenstrahlen füglich erklärt werden kann[1]. Fourier setzt dann noch hinzu, daſs der Einfluſs derselben mit der Tiefe der Erdkruste mehr und mehr abnimmt, und bei etwa 30 Metern völlig verschwindet. Die verschiedenen Einflüsse in Verbindung mit der genannten Hauptursache der Wärmeerzeugung gleichen sich indeſs aus, um die mittlere Temperatur der Oerter zu erzeugen. Ferner ist die Tiefe, bis zu welcher die durch äuſsere Ursachen bedingten Veränderungen der Temperatur dringen, den Quadratwurzeln der Zeit proportional, welche bei geringerer Tiefe erfordert wird, sie wahrnehmbar zu machen, weswegen die Tiefe, bis zu welcher die täglichen Veränderungen bemerkt werden, 19 mal geringer ist, als welche den jährlichen zugehört[2]. Man darf annehmen, daſs ein Achttheil des Jahres, nachdem die Oberfläche der Erde ihre mittlere Temperatur erreicht hat, die Erdrinde wärmer wird, dieses sechs Monate fortdauert, und hierauf Abnahme erfolgt. Fourier will ferner aus Versuchen mit Eisen gefunden haben, daſs, wenn die Erdrinde metallisch wäre, die durch die Veränderung der Jahrszeiten erzeugte Wärme in Paris hinreichen würde, um bei der Basis von einem Quadratmeter einen Eiscylinder von dieser Grundfläche und 3,1 Meter Höhe zu schmelzen. Die mehr nach unten erregte Wärme der Erdrinde selbst würde aber ein weit geringeres Resultat geben, indem die Wärmeerzeugung nach seinen Untersuchungen der Quadratwurzel aus dem Producte der Wärmecapacität in das Volumen und das Durchleitungsvermögen proportional ist.

b. Fourier nimmt eine Wärme des Raumes an, worin sich die Erde bewegt. Sie soll derjenigen gleichen, welche ein Thermometer zeigen würde, wenn die Sonne und alle Planeten weg-

1 D'Aubuisson Traité de Géogn. I. 424.

2 Es kommt hierbei sicher auf die Beschaffenheit des Bodens an. Nach meinen oben erwähnten Versuchen mit Thermometern, welche in schwere, unten thonige, Gartenerde eingesenkt sind, reichen die täglichen Veränderungen nicht bis auf 3 Par. Fuſs, und so lassen sich für die jährlichen höchstens 50 bis 60 F. oder etwa 20 Meter rechnen.

genommen würden. Diese Wärmequelle scheint ihm nothwendig, weil sonst, wenn die Erde sich in einem absolut kalten Raume befände, die Kälte an den Polen ungeheuer, und die Zunahme derselben vom Aequator an viel stärker seyn würde, auch die Nacht eine völlige Erstarrung herbeiführen müſste, wenn alle Wärme von den Sonnenstrahlen herrührte. Diese Temperatur des Raumes soll seinen Berechnungen nach derjenigen gleichen, welche an den Polen herrscht, und aus den Strahlungen aller Himmelskörper und der im Raume vorhandenen Materie entstehen, deswegen auch nicht überall gleich seyn, wohl aber in unserm Planetenraume, und diesemnach an den Polen aller Planeten dieselbe.

Die groſse Autorität, welche Fourier durch seine Arbeiten über die Wärmelehre gerade in diesem Zweige der Physik erlangt hat, erfordert die Mittheilung seiner Ansichten. Läſst man sich indeſs durch jenes, anderweitig wohlbegründete, Ansehen nicht blenden, so ergiebt sich bald, daſs der ganze dargelegte Satz mit anerkannten Wahrheiten im Widerspruche steht. Hierhin rechne ich weniger die durch Gay-Lussac[1] aus seinen bekannten Versuchen abstrahirte Folgerung, wonach im Torricelli'schen Vacuo gar keine Wärme vorhanden seyn soll, um so viel weniger also in der weit vollkommenern und von aller wägbaren Materie ungleich weiter getrennten Leere des planetarischen Raumes existiren könnte, als vielmehr die Gründe, worauf der Beweis einer solchen Wärme des Raumes gegründet wird. Wenn man nämlich berücksichtigt, daſs die Zeiträume, während welcher die Sonnenstrahlen auf die Pole fallen, der Summe der Tageslängen unter dem Aequator gleich ist, daſs unzählige Luftströmungen die Atmosphäre stets durch einander mischen, und nach Fourier selbst die erhitzten Luftschichten unter dem Aequator stets aufsteigen, um oberhalb nach den Polen hin wieder abzuflieſsen, daſs endlich auch die Meeresströmungen eine Menge von dem unter dem Aequator erwärmten Wasser den Polen zuführen müssen, so scheint nach allen diesen Gründen vielmehr die hohe Kälte der Pole einer genügenden Erklärung zu bedürfen. Daſs aber die Temperatur an den Polen einem Wechsel des Sommers und Winters unterliege, mithin keine constante Gröſse sey, auſserdem aber von der auf

1 Ann. Ch. et Ph. XIII. 304.

den höchsten Bergspitzen herrschenden schwerlich bedeutend sich unterscheide, und somit die an der äufsersten Grenze der Atmosphäre herrschende (wahrscheinlich absolute) Kälte keineswegs erreiche, wird nicht leicht jemand bezweifeln. Prüft man aber vollends das zweite Argument, nämlich dafs die Nacht eine völlige Erstarrung herbeiführen müfste, wenn die Sonnenstrahlen alleinige Ursache der Wärme wären, so mufs es in der That auffallen, wie Fourier dieses aufstellen konnte, welcher mit so ausgezeichneter Gewandtheit im analytischen Calcüle die Gesetze der Erkaltungszeiten erhitzter Körper in der Luft und im leeren Raume bestimmt hat. Aus der angegebenen Behauptung würde aber folgen, dafs eine glühend gemachte erdene Kugel, in ein völlig verfinstertes Zimmer gebracht, plötzlich auf die Temperatur der Umgebung herabsinken müfste, was doch eben so sehr den gemeinsten Erfahrungen, als den tiefgelehrten theoretischen Betrachtungen Fourier's widerstreitet.

Zu diesen unwiderleglichen Argumenten lassen sich noch Kleinigkeiten hinzufügen, welche indefs insgesammt gegen die aufgestellte Behauptung entscheiden. Gliche nämlich die Temperatur des Raumes derjenigen, welche an den Polen der Erde statt findet, so ist hierdurch nicht bestimmt, ob der mittleren oder der tiefsten derselben. Das erstere ist fast undenkbar, und würde kein Aufsteigen der Lufttheilchen von der durch dauernden Einflufs der Sonnenstrahlen mindestens etwas erwärmten Oberfläche an den Polen gestatten, überhaupt aber, eben wie das zweite, keine Abnahme der Temperatur bei gröfserer Erhebung über die Erdoberfläche daselbst zulassen. Dafs ferner die Temperatur aller Planeten an den Polen gleich seyn soll, ist mindestens eine sehr gewagte Hypothese, welche mit den grofsen Massen Polareises, die man auf dem Mars beobachtet und regelmäfsig verschwinden gesehen haben will, desgleichen mit der Lage der Axe des Jupiters gegen die Sonnenbahn, kurz mit der wahrscheinlichen physischen Beschaffenheit der Planeten keineswegs übereinstimmt. Die Strahlungen der Planeten in den Himmelsraum endlich, und vollends einer noch ganz unerwiesenen Materie im planetarischen Raume, sind mindestens im höchsten Grade problematisch.

c. Die dritte Ursache der Erdtemperatur findet Fourier in dem noch vorhandenen Ueberreste der ursprünglichen Erdwärme oder überhaupt in ihrer fortdauernden eigenthümlichen Wärme.

Dieses kann auf zweierlei Weise verstanden werden. Zuerst läſst sich annehmen, daſs die ursprünglich glühende Erdmasse auf ihrer Oberfläche bis zu ihrer gegenwärtigen mittleren Temperatur erkaltet sey, und in dem hiernach allmälig erhaltenen Zustande unverändert bleibe, indem durch die Sonne stets neue Wärme herbeigeführt wird, durch Strahlung eine proportionale Menge verloren geht, so daſs selbst in langen Perioden keine Veränderung wahrnehmbar wird. So ist ohne Zweifel die Ansicht Fourier's, welche er mit andern Physikern theilt, und auf diese führen auch die gesammten hierher gehörigen Phänomene, welcher Vorstellung von der individuellen Wirkungsart der Sonnenstrahlen man auch huldigen mag. Einen hauptsächlichen Beweis hierfür liefert namentlich die seit langen Perioden gleich gebliebene mittlere Temperatur der Erdoberfläche[1]. Man könnte indeſs zweitens annehmen, daſs von der groſsen Hitze des Erdkernes fortwährend ein Theil auf die Oberfläche dränge, und die Temperatur derselben in einem anscheinend gleichbleibenden mittleren Zustande erhielte. Die hiernach auf die Erdoberfläche dringende Wärme müſste sich dann entweder daselbst anhäufen, oder gleichfalls in den Himmelsraum zerstreuen. Hiergegen läſst sich kein Argument aus der Unveränderlichkeit der mittleren Erdtemperatur hernehmen, weil es gerade in dem Satze selbst liegen würde, daſs der gröſsere, durch Strahlung erzeugte, Wärmeverlust durch diesen Zufluſs von Innen einen Ersatz erhielte. Man kann ferner aus dem Resultate der Berechnungen La Place's, daſs die mittlere Wärme der Erde seit Hipparch's Zeiten wegen der unveränderten Länge der Tage weder abgenommen noch zugenommen habe, einen Gegenbeweis hiergegen ableiten, weil der wirkliche Wärmeverlust so langsam und in meſsbaren Zeiträumen so unbedeutend anzunehmen wäre, daſs historisch bekannte Zeitintervalle noch keine Messung zulassen könnten. Fourier scheint übrigens, indem er mit Buffon ein allmäliges Erkalten des Erdballes anzunehmen geneigt ist, dieser letzteren Ansicht gleichfalls zu huldigen. Inzwischen gehört dieses auf allen Fall in das Gebiet des Hypothetischen, und hängt mit den Vorstellungen zusammen, welche man sich von dem eigentlichen Wesen der Erdtempe-

1 Gay-Lüssac in Ann. Ch. Ph. XXVII. 407 ff. Vergl. *Temperatur.*

ratur macht. Der Erfahrung nach dringt indeſs keine Wärme aus dem Inneren des Erdballes auf die Oberfläche desselben, weil die in einer stabilen Temperatur befindliche Kruste sie nicht durchläſst. Hiervon könnten bloſs einige vulcanische Erscheinungen eine Ausnahme machen, und stimmt diese Ansicht im Allgemeinen weit besser mit La Place's Behauptung überein, als jene unbegründete Hypothese einer unmerklichen Erkaltung.

4. Bei weitem die schwierigste Untersuchung von allen, und nur deswegen vielleicht als minder schwierig betrachtet, weil die Thatsache selbst so allgemein bekannt ist, betrifft die Ursachen, weswegen die Temperatur mit den Höhen so schnell abnimmt. Die Ursachen, welche überhaupt Wärme in höheren Regionen der Luft erzeugen, sind bekannt, und namentlich durch v. Humboldt[1] angegeben. Sie sind 1. die allerdings statt findende, wenn gleich geringe, Absorption der Lichtstrahlen, 2. aufsteigende warme Luftschichten, welche durch starke Erhitzung über der Erdoberfläche specifisch leichter, und dadurch zum Aufsteigen geeignet werden, 3. Wärmeleitung, wenn diese anders nach Rumford's Versuchen statt finden kann, und 4. die Strahlung oder die Erhebung der strahlenden Wärme. Hieraus läſst sich allerdings das Vorhandenseyn der Wärme in den höheren Luftregionen, minder leicht aber ihre geringere Intensität erklären, und die so schnelle Abnahme derselben bleibt doch allezeit räthselhaft. Man leitet nämlich die niedere Temperatur in gröſseren Höhen aus zwei Ursachen ab. Zuerst ist die Luft in den oberen Regionen dünner und durchsichtiger, die Sonnenstrahlen erregen in ihr daher nicht so viele Wärme, als in der unteren, insbesondere aber entgeht ihr diejenige Wärme, welche auf der Erdoberfläche durch das Sonnenlicht erzeugt, und den berührenden Luftschichten durch Strahlung mitgetheilt wird. Diese Ursache ist so auſserordentlich wirksam, daſs d'Aubuisson[2] versichert, Wolken beobachtet zu haben, in welchen die auffallenden Sonnenstrahlen eine groſse und durch Strahlung nach Auſsen wahrnehmbare Menge Wärme entwikkelten. Eine zweite Ursache der mit den Erhebungen über die Oberfläche der Erde zunehmenden Kälte liegt darin, daſs die

1 Abhandl. der Berlin. Akad. d. Wiss. auf das J. 1807. Im Auszuge bei G. XXIV. 1 ff.

2 Traité de Géognos. I. 435.

erwärmten, und dadurch specifisch leichter werdenden Lufttheilchen empor steigen, dabei aber zugleich durch ihre Expansion so viele Wärme binden, als bei ihrer Verdichtung frei wird[1]. Dieser letztere Grund in seinem ganzen Umfange genommen besagt Folgendes. Bei dem unaufhörlichen Auf- und Nieder-Steigen der Luftmassen findet gleichmäſsig Verdünnung und Verdichtung deſselben statt. Indem aber durch erstere Wärme gebunden, durch letztere aber entbunden wird, so werden die aufsteigenden Lufttheilchen durch Expansion so viel kälter, die herabsinkenden durch Compression so viel wärmer, um die Differenz der Temperatur in gröſseren und geringeren Erhebungen über die Meeresfläche stets gleichbleibend zu erhalten. Eine nähere Prüfung dieses theoretischen Satzes wird ergeben, in wie weit derselbe mit der Erfahrung übereinstimmt.

Man kann nicht in Abrede stellen, daſs diese beiden zusammenwirkenden Ursachen das vorliegende Phänomen eben so vollständig als deutlich zu erklären scheinen. Indeſs will ich beide einer genauen Prüfung unterwerfen, und dann angeben, zu welchem Resultate diese führt, wobei ich mich in Voraus auf diejenigen Untersuchungen beziehe, welche in der Folge unter den Artikeln *Klima*, *Temperatur* und *Wärme* angestellt werden sollen.

a. Wenn die Erfahrung uns berechtigt, die Wärme der Erdoberfläche von der Einwirkung der Sonnenstrahlen abzuleiten, und wir die Ergebnisse der Versuche berücksichtigen, wodurch man den auſserordentlichen Einfluſs der Dunkelheit und Dichtigkeit der durch die Sonnenstrahlen getroffenen Körper auf die in ihnen erzeugte Wärme aufgefunden hat, so darf man keinen Augenblick anstehen, die Wärmeproduction durch dieses Mittel in der höchst durchsichtigen Atmosphäre der höheren Gegenden für verschwindend klein zu halten, oder auch mit D'Aubuisson = 0 zu setzen, wenigstens wenn von ausgezeichnet hohen Bergspitzen die Rede ist. Die groſse Kälte in den oberen Luftschichten scheint somit aus der Abwesenheit eines warmegebenden Mittels leicht erklärlich. Bezieht sich indeſs die Untersuchung auf die Kälte der Berge, so stellt sich die Sache

1 Unter vielen Autoritäten erwähne ich nur D'Aubuisson a. a. O. Fourier Traité anal. de la Chaleur. p. VI. La Place Méc. Cél. V. 87 ff.

ganz anders dar. Auf den Bergen nämlich ist die Luft aufserordentlich durchsichtig, die Sonnenstrahlen kommen also ungeschwächt auf dem Boden an, und erzeugen eine weit gröfsere Wärme, als in niedrigern Gegenden. Zum Beweise mögen aufser den vielen Angaben der auf hohen Bergen empfundenen, gleichsam stechenden, Hitze der Sonnenstrahlen nur die Versuche dienen, welche SABINE auf Jamaica anstellte[1]. Ein geschwärztes Thermometer stieg durch den Einflufs der Sonnenstrahlen im Spiegel des Meeres im Mittel 36°,5 F. über die Wärme der umgebenden Luft, in einer Höhe von 4080 engl. F. aber 59°, so dafs also die absolute Differenz 22°,5 F. = 12°,5 C. betrug. Der Unterschied der Temperaturen beider Stationen war 13° F. Werden diese abgerechnet, so beträgt dennoch die relative Differenz der Wärmeerzeugung in jener Höhe über die untere noch 9° F. oder 5° C., wenn man auf den Bergen das Resultat eines einzigen Tages, an der unteren Station aber das Maximum aus 6 Tagen nimmt. Hiergegen mufs man rechnen, dafs das obere Thermometer bei Nacht mehr Wärme verlor, als das untere, wie SABINE meint, durch Strahlung. Das obere, dem freien Himmel ausgesetzte Thermometer mit einer geschwärzten Kugel fiel nämlich in einer Nacht um 18° F. mehr, als ein im Schatten befindliches und gegen Strahlung gesichertes, zwei solche verglichene Thermometer an der unteren Station differirten aber nur um 9° F. im Mittel aus 7 Nachtbeobachtungen. (Das Maximum der Differenz betrug 11°,5 F.) Nehmen wir auf dieses letztere keine Rücksicht, so verlor das obere 9° F. = 5° C. Wärme mehr als das unterere bei Nacht, und gewann 22°,5 F. = 12°,5 C. mehr bei Tage, ja sogar mit Rücksicht auf die oben einmal vorhandene gröfsere Kälte war die Wärmeproduction oben mindestens eben so grofs und eigentlich noch überwiegend gröfser als die Wärmeverminderung in Vergleichung mit beiden Resultaten an der unteren Station. Hieraus geht aber evident das Resultat hervor, dafs es auf hohen Bergen *wärmer* seyn müfste, als in der Tiefe. Man könnte hiergegen anführen, dafs die höheren Gegenden stets in Berührung mit der kalten Luft sind, wodurch ihnen Wärme entzogen wird; allein der Verfolg der Untersuchungen wird ergeben, dafs die Spiten der Berge

1 An Account of Experiments to determine the figure of the Earth, Lond. 1825. 4. p. 507.

vielmehr kälter sind, als die Luft in gleichen Höhen. Ohne daher dieses, auf einen Widerspruch zwischen bekannten Thatsachen führende Problem hier weiter zu erörtern, gehe ich zum zweiten Argumente über.

b. Am wichtigsten ist also der zweite Grund der mit den Höhen abnehmenden Wärme, welcher aus der Erkaltung der Luft durch Expansion und aus ihrer Erwärmung durch Compression hergenommen wird. Hierbei muſs zuvörderst vorausgesetzt werden, was noch nicht völlig durch die Erfahrung erwiesen, aber mindestens im höchsten Grade wahrscheinlich und vor der Hand nicht zu bezweifeln ist, daſs durch Expansion der Luft eine ganz gleiche Wärmemenge gebunden, als durch ihre Compression frei wird. Soll ferner bei den verschiedenen, häufig aufwärts und niederwärts gehenden Luftbewegungen das bestehende Gleichgewicht der Temperaturen in ungleichen Höhen bleibend erhalten werden, so muſs die Wärmebindung und Entbindung durch Verdichtung und Verdünnung der Luft den ungleichen Temperaturen verschiedener Höhen und der daselbst beobachteten Temperaturen correspondiren. Es fragt sich also, was aus Theorie und Erfahrung rücksichtlich dieser Aufgabe folgt. Der Gegenstand ist wegen seiner hohen Wichtigkeit oft untersucht, und ich will daher das Wesentlichste darüber mittheilen, indem ich bei den neuesten Versuchen hauptsächlich eine Dichtigkeitsvermehrung bis zum Doppelten berücksichtige, weil hiervon eine unmittelbare Anwendung auf die durch Gay-Lüssac bei seinem aërostatischen Auffluge erhaltenen Resultate gemacht werden kann.

1. Die Untersuchung fällt im Allgemeinen mit einer andern, oben (D. a. 6) schon in nächster Beziehung auf die Erfahrung angeregten, zusammen, nämlich ob für gleiche Höhenunterschiede die Temperaturen in einer arithmetischen oder geometrischen Progression abnehmen, und diese Frage kann hier zugleich mehr im Allgemeinen mit erörtert werden. Schon L. Euler[1] folgerte in seiner Abhandlung über die Strahlenbrechung, daſs die letztere als Regel anzunehmen sey. Bezeichnen t und t′ die Temperaturen und h die Höhe der zwischen beiden liegenden Luftschicht, so ist

---

1 Mém. de Berlin. 1754. p. 140.

$$h = f\frac{t - t'}{1 + t},$$

wonach also die Höhe dem Unterschiede der Temperaturen directe, und der unteren Temperatur umgekehrt proportional ist. Diese Formel Euler's bezieht sich auf das Luftthermometer. Oltmanns[1] hat sie indeſs auf das Quecksilberthermometer unter der Voraussetzung reducirt, daſs die Luft zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers sich um 0,375 ihres Volumens ausdehnt, und findet dann aus v. Humboldt's Beobachtungen folgende Werthe für den Coefficienten 1 : f, deren Uebereinstimmung zeigt, daſs für die gemessenen Höhen diese Formel allerdings mit der Erfahrung übereinstimmt.

Beobachtungsort	1 : f
Pic von Teneriffa —	0,000036563
Nevado de Toluca —	0,000039633
Silla de Caraccas —	0,000035506
Pichincha — —	0,000036579
Fuerte de la Cuchilla —	0,000038344
Chimboraço — —	0,000035447

Diese Beobachtungen liegen indeſs sämmtlich zwischen den Wendekreisen, und es ist oben nachgewiesen, daſs aus ihnen kein allgemeines Gesetz der Wärmeabnahme in wachsenden Höhen entlehnt werden kann. Inzwischen ist Euler's Formel auf ein im Allgemeinen richtiges und mit der Erfahrung übereinstimmendes Princip gegründet.

Lambert[2] nimmt in Gemäſsheit seiner Untersuchungen über die Verbreitung der Wärmetheilchen an, daſs für gleiche Höhenunterschiede abnehmende Temperaturdifferenzen statt finden, mithin daſs die ersteren in einer zunehmenden Progression wachsen, wenn die letzteren in einer arithmetischen Reihe abnehmen. Aus seiner Formel berechnet er, daſs folgende Temperaturen und Höhen einander zugehören.

---

1 G. XXXI. 387.

2 Mém. de Berlin. 1772. Pyrometrie. p. 232.

Höhen in Tois.	Temp.	Differ. für 420 t.	Höhen in Tois.	Temp.	Differ. für 420 t.
000	1,0000	0,0382	2520	0,8410	0,0138
420	0,9618	0,0320	3360	0,8134	0,0109
840	0,9298	0,0273	4200	0,7915	0,0052
1260	0,9025	0,0233	6300	0,7555	0,0041
1680	0,8792	0,0201	8400	0,7351	0,0032
2100	0,8591	0,0181	10500	0,7219	

La Grange[1] meint, dafs die Hypothese einer mit den Höhen gleichmäfsig abnehmenden Temperatur der Natur der Sache am angemessensten sey, Oriani[2] nimmt statt dessen eine harmonische Reihe an, welche zwischen einer arithmetischen und einer geometrischen in der Mitte liegt, und eben so urtheilt v. Lindenau[3]. Indem er aber für barometrische Höhenmessungen die mittlere Temperatur beider Stationen durch die Formel

$$\vartheta = \tfrac{1}{2}(t+t') - 0{,}000004\,(t-t')$$

ausdrückt, so ergiebt sich, dafs hiernach die Wärmeabnahme von einer arithmetischen Reihe nicht merklich abweicht. Für mäfsige, oder vielmehr durch Menschen erreichbare Höhen theilt auch La Place in so fern diese Ansicht, als er in seiner Formel für barometrisches Höhenmessen die mittlere Temperatur der zwischenliegenden Luftschichten dem arithmetischen Mittel aus beiden gemessenen Temperaturen gleich setzt.

2. Zur Würdigung sowohl dieser älteren und neueren, als auch insbesondere der neuesten Bestimmungen über diesen Gegenstand ist indefs vor allen Dingen nothwendig, die Vermehrung und Verminderung der Wärme zu kennen, welche durch Expansion und Compression der Luft hervorgebracht wird, weil Luftmassen stets aufsteigen und herabsinken, und hierdurch nothwendig das Gleichgewicht der Temperatur gestört werden müfste, wenn namentlich die aufsteigenden Lufttheile nicht durch die gröfsere Ausdehnung in höheren Regionen diejenige Wärme wieder verlören, welche ihnen bei der Berührung der

1 Mém. de Berlin. 1772. p. 206.

2 Dieser Gelehrte gründete seine Untersuchungen hauptsächlich auf die horizontale Strahlenbrechung. S. Ephem. astron. anni 1788 cet. p. 218. Vergl. La Place in Méc. Cél. IV. 262. v. Zach in Mon. Cor. XXI. 101.

3 Bernhard de Lindenau Tables barometriques cet. Leipz. 1809. S.

Erdoberfläche mitgetheilt ist. Versuche hierüber sind viele angestellt, jedoch stimmen die erhaltenen Resultate keineswegs vollkommen, einige überall kaum mit einander überein, weil namentlich die Absorption der Wärme durch die Wände der Gefäſse und sonstige Bedingungen einen ausnehmend groſsen Einfluſs ausüben. Vollständig können die verschiedenen Versuche hier zwar nicht geprüft werden[1], wohl aber ist es nothwendig, von den gefundenen Gröſsen hier Gebrauch zu machen. Einige Versuche, welche mit der Bestimmung der in den Wasserdämpfen durch Expansion latent werdenden Wärme zusammenhängen, sind oben[2] schon angegeben, und können daher hier nur kurz erwähnt werden. Nach ROBISON werden durch eine Verdünnung der Luft auf die Hälfte ihrer Dichtigkeit 3°,024 R. = 3°,8 C. Wärme gebunden, nach SOUTHERN 11°,85 R. = 14°,81 C. GAY-LUSSAC[3] verband zwei Ballons mit einander, exantlirte den einen, lieſs dann in diesen die Luft aus dem andern strömen, und beobachtete die hierdurch in beiden erzeugte Veränderung der Temperatur. Hiernach erhielt er durch eine Vermehrung der Dichtigkeit auf das Doppelte nur eine Vermehrung der Temperatur um 5° C. an einem empfindlichen Luftthermometer. J. DALTON[4] suchte gleichfalls durch Verdichtung und Verdünnung der Luft in Ballons vermittelst der Luftpumpe die Menge der hierdurch frei und latent werdenden Wärme zu finden, und nimmt als genäherte Gröſse aus seinen Versuchen an, daſs eine Compreſsion bis auf das Doppelte der Dichtigkeit 50° F. = 28° C. oder 22° R. Wärme erzeugt.

Ungleich gröſsere Resultate sind durch andere Versuche erhalten, welche im Ganzen mehr Vertrauen verdienen, ohne daſs es deswegen erlaubt ist, jene ganz in Schatten zu stellen. DE LA RIVE und MARCET[5] fanden nämlich bei der Anwendung sehr vollkommener Apparate und äuſserst genauer Beobachtung ein bei den gewählten Methoden täuschendes Hinderniſs. Die von Auſsen in den Ballon dringende Luft machte die Luft anfangs sinken, weil sie in dem leereren Raume expandirt wurde,

---

1 Vergl. *Wärme; Erzeugung derselben.*

2 S. Art. *Dampf.* Th. II. S. 303.

3 Mém. d'Arcueil. I. 180 daraus bei G. XXX. 258.

4 G. XIV. 101.

5 Bibl. univ. XXII. 275. Ann. Ch. et Ph. XXIII. 209.

der anfängliche Wärmeverlust betrug nach dem Thermometer 2°,4 und die nachher erfolgende Temperaturerhöhung 7 bis 9 Grade, so daſs nur eine absolute Wärmevermehrung von etwa 6° C. am Thermometer wahrnehmbar wurde. Genau genommen muſste aber von der durch Verdichtung der Luft erzeugten Wärme ein aliquoter Theil zur Erwärmung des Thermometers abgegeben werden, wozu eine gewisse Zeit erforderlich war, und wenn man diese Betrachtungen weiter verfolgt, so ergiebt sich leicht, daſs die eigentliche Wärmebindung durch Expansion selbst in demjenigen Ballon, aus welchem nach Gay-Lussac die Luft ausströmte, entweder gar nicht oder nicht mit völliger Genauigkeit gemessen werden konnte[1].

Unter die sinnreichsten und bisher mit Recht sehr geachteten Versuche gehören daher die durch Clement und Desormes[2] angestellten. Sie lieſsen Luft in einen Ballon strömen, worin die Elasticität der eingeschlossenen Luft 752,69 Millim. zeigte, während die der äuſseren 766,5 Millim. betrug. Die Differenz der Dichtigkeiten war also = 13,71 Millim. und die Verdichtung $\frac{13{,}71'}{766{,}5} = \frac{1}{55{,}5}$, wodurch 1°,3212 Wärme ausgeschieden wurde. Hiernach giebt also ohne Weiteres eine Zusammendrückung der Luft von 0,017886 ihres Volumens 1°,3212 C. Wärme, mithin erfordert 1° C. eine Verdichtung von 0,013538 und 1° R. von 0,016922 unter den Bedingungen des angegebenen Versuches. Poisson, welcher diese Versuche einer genauen Berechnung unterworfen hat[3], findet, daſs eine Verdichtung der Luft um 0,01355 einer Temperaturerhöhung von 1°,3212 zugehört, welches für 1° C. 0,01025 und für 1° R. 0,01282 geben würde, wenn man die Verdichtungen den erzeugten Temperaturen direct proportional setzt. Diese Bestimmung, welche auf den ersten Blick eine sehr groſse Wärmeausscheidung als Folge der Compression der Luft darthut, findet Poisson indeſs zur Erklärung der Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft noch nicht zureichend, sondern es soll die angegebene Verdichtung einer Temperatur von 1°,513 zugehören, wonach darauf 1° C. 0,008956 und auf 1° R.

1 Vergl. *Wärme; Erzeugung durch Compression.*

2 Journ. de Ph. LXXXIX. 331.

3 Journ. de l'École polyt. Cah. XIV. Ann. Ch. et Ph. XXII. 5.

0,01119 Verdichtung kommen würde. Aehnliche Angaben, welche aber fast alle mit der Fortpflanzung des Schalles in Verbindung stehen, und auf den genannten Versuchen beruhen, finden sich mehrere. Unter andern äuſsert GAY-LÜSSAC[1] beiläufig, daſs eine fünffache Verdichtung der Luft 250° C. erzeugen würde, wonach auf 1° C. 0,02 und auf 1° R. 0,025 kommen würde. BIOT[2] bezieht sich auf POISSON's angegebene Abhandlung, und nimmt hypothetisch an, daſs zur Erklärung der Geschwindigkeit des Schalles für 1° C. eine Verdichtung von $\frac{1}{116}$tel = 0,008620 und für 1° R. von 0,0108 anzunehmen sey. Es mögen indeſs diese Angaben hier nur zur Vergleichung dienen, und ich werde sie daher bei der nachfolgenden Anwendung nicht weiter berücksichtigen.

Nach DE LA PLACE[3] haben GAY-LÜSSAC und WELTER eine sehr groſse Reihe ähnlicher Versuche zur Begründung seiner Theorie über die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft angestellt, indem sie die Luft comprimirten, anstatt sie wie CLEMENT und DESORMES zu verdünnen. Statt der durch letztere nach POISSON's Berechnung erhaltenen Gröſse = 0,01355 erhielten jene 0,0137244, wonach dann für 1° C. 0,010388 und für 1° R. 0,012985 kommen würde. Auch die Versuche, welche DE LA ROCHE und BERARD über die specifische Wärme der Gasarten angestellt haben, benutzt LA PLACE, um jene Bestimmung daraus zu erhalten, und findet diese = 0,013748, wonach für 1° C. 0,010405 und für 1° R. 0,013007 gehört.

Auf eine von den angegebenen Methoden verschiedene Weise hat J. J. PRECHTL[4] das Gesetz der Wärmeentbindung durch Compression der Luft in nächster Beziehung auf die Wärmeabnahme in der Atmosphäre untersucht. Das sinnreich ausgedachte, und vielleicht zweckmäſsigste Verfahren bestand im Allgemeinen darin, eine eingeschlossene und durch Wärme auf einen höheren Grad der Spannung gebrachte Quantität Luft mit der äuſseren plötzlich ins Gleichgewicht der Elasticität zu setzen,

---

1 Ann. Ch. et Ph. IX. 305.

2 Traité II. 21.

3 Méc. cél. V. 125.

4 Jahrb. des polyt. Inst. III. 1. G. LXXVI. 249. Eine nähere Beschreibung der Versuche s. Art. *Wärme*.

die sogleich erfolgende und die nach längerer Zeit eintretende Ausdehnung zu messen, und aus dem Unterschiede beider die gleich anfangs durch die Expansion verlorene Wärme zu bestimmen. Als mittleren Werth erhielt er nach der oben gewählten Bezeichnung 0,01720 für 1° C. und 0,0215 für 1° R.

Da sich der Natur der Sache nach nicht erwarten läſst, daſs so complicirte Versuche völlig übereinstimmende Resultate geben sollten, und die gewählten Methoden der Untersuchung keiner der gefundenen Gröſsen ein entschiedenes Uebergewicht über die anderen geben, so wird es vor der Hand am besten seyn, aus allen das arithmetische Mittel zu suchen. Heiſst also die für 1° R. ausgeschiedener Wärme gefundene Gröſse der Compression x; die für 1° C. gefundene y, so haben wir folgende Werthe aus den verschiedenen Versuchen.

Nach Clement und Desormes ist	$x=0,01282$;	$y=0,01025$
— Gay-Lussac und Welter	$x=0,012985$;	$y=0,010388$
— La Roche und Berard	$x=0,013007$;	$y=0,010405$
— Prechtl	$x=0,021500$;	$y=0,017200$
Mittel	$=x=0,015078$;	$y=0,012061$

Das Mittel aus den französischen sehr nahe übereinstimmenden Bestimmungen giebt $x=0,012937$ und $y=0,010348$. Ist der Werth für x und für y einmal gegeben, und darf man voraussetzen, daſs die Vermehrung und Verminderung der Wärme der Compression und Expansion der Luft direct proportional sey, so läſst sich durch $\frac{n}{x}$ oder $\frac{n}{y}$ die durch eine n fache Verdünnung oder Verdichtung der Luft latent oder frei gewordene Wärme in Graden der achtzig - oder hundert - theiligen Scale finden. Wegen einer Vergleichung mit den durch Gay-Lussac bei seinem aërostatischen Auffluge erhaltenen Resultaten sey $n=2$; so giebt das allgemeine Mittel für eine Verdoppelung der Dichtigkeit 132°,64 R. = 165°,82 C., das Mittel aus den drei französischen Versuchen aber 154°,6 R. = 193°,27 C.

3. J. Leslie[1] sucht gleichfalls aus den ihm bekannten Versuchen über die durch Verdünnung der Luft absorbirte Wärme das Gesetz aufzufinden, wonach die Temperatur der

---

1 Ann. of Phil. XIV. 26.

Atmosphäre mit zunehmender Höhe abnimmt. Hiernach ist für Grade der Fahrenheit'schen Scale, wenn d die Dichtigkeit der höheren Luftschichten, die der unteren als Einheit angenommen, bezeichnet, und $x = 1 - d$ gesetzt wird, die Verminderung der Temperatur $= 45° x \left(\frac{2-x}{1-x}\right)$, wonach die Wärme für 200 F. Höhe um 1° F. abnimmt. Wird hiernach die Temperaturverminderung berechnet, welche einer Abnahme der Dichtigkeit der Luft bis auf die Hälfte zugehört, so ist $d = 0,5$, also $x = 0,5$ und die Abnahme der Wärme $= 67°,5$ F. oder $= 37°,5$ C.

4. Ehe ich diese Untersuchungen weiter fortsetze, wird es nöthig seyn, die von Gay-Lüssac bei seinem oft erwähnten aërostatischen Auffluge erhaltenen Gröſsen bestimmter anzugeben, weil diese nicht bloſs an sich groſses Zutrauen verdienen, sondern auch zwischen den vielen andern gefundenen Werthen ohngefähr in der Mitte liegen. Gay-Lüssac[1] beobachtete nämlich an der Erdoberfläche 30°,8 C. und in gröſster Höhe −9°,5, mithin betrug die Temperaturdifferenz beider Stationen 40°,3 C. Die Barometerstände zeigten eine Dichtigkeit der Luft unten = 1, oben = 0,432, und wenn die letztere Gröſse wegen des Unterschiedes der Temperatur corrigirt wird = 0,5; mithin gehört einer Verdünnung der Luft bis auf die Hälfte ihrer Dichtigkeit eine Temperaturverminderung von 40°,3 C. zu, wenn man annehmen will, daſs die von unten aufsteigenden, und umgekehrt die von oben herabsinkenden Lufttheilchen durch Expansion und Compression die Temperatur der Luftschichten annehmen, in welche sie gelangen, wodurch dann das Gleichgewicht in der Temperatur bleibend erhalten werden würde.

5. Prechtl[2] giebt an, es lasse sich aus der gegebenen Verdünnung der Luft und dem bekannten Werthe von x die Verschluckung der Wärme leicht finden, und da die Dichtigkeit der Luft dem Barometerstande direct proportional sey, so gebe für die Barometerstände h und h' und die Temperaturen t und t' die Formel

$$\frac{h-h'}{h} = x\,(t-t') \text{ oder } t' = t - \frac{h-h'}{hx}$$

---

1 S. Th. I. S. 241.

2 G. LXVII. 252.

die zusammengehörigen Höhen und Temperaturen. Dafs man in diese Formel ohne Weiteres y statt x setzen könne, wenn die Temperaturen in Centesimalgraden gemessen werden sollen, versteht sich von selbst. Nach den vorstehenden Angaben dürfen wir in dem vorliegenden Falle statt die Dichtigkeiten aus den Barometerhöhen zu berechnen, nur $\frac{0,5}{x} = t - t'$ setzen, oder nach Graden der hunderttheil. Scale y statt x setzen, um die oben angegebenen Werthe mit dem durch GAY-LÜSSAC gefundenen Unterschiede der Temperaturen $= 40°,3$ C. zu vergleichen. Die nachstehende Uebersicht enthält diese Gröfsen, und in der letzten Columne die Differenz.

Nach CLEMENT und DESORMES	48,7	Diff.	+ 8,4
— GAY-LÜSSAC und WELTER	48,1	—	+ 7,8
— LA ROCHE und BERARD	48,0	—	+ 7,7
— PRECHTL	29,1	—	—11,2
— LESLIE	38,0	—	— 2,3
Mittel aus den oberen vier Bestimmungen	41,4	—	+ 1,1

Diese Zusammenstellung ergiebt, dafs die Differenzen mit Ausnahme der Bestimmung durch LESLIE und des arithmetischen Mittels aus den vier übrigen Werthen zu grofs sind, als dafs sie nicht Fehler in der einen oder anderen Beobachtung oder in den theoretischen Voraussetzungen andeuten sollten. Es darf dabei nicht unbemerkt bleiben, dafs nach den französischen Bestimmungen die Kälte in höheren Regionen gröfser seyn müfste, nach PRECHTL und LESLIE aber geringer, als sie durch Versuche gefunden ist. PRECHTL berechnet die Dichtigkeit der Luftschichten in den verschiedenen Höhen blofs nach den Barometerständen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, dafs die höheren durch geringere Temperatur dichter waren, als unmittelbar aus ihren Elasticitäten folgt. Weil indefs seine Zusammenstellung der gefundenen Werthe zugleich einige interessante Einflüsse anderweitiger Bedingungen beurkundet, welche weiterhin noch näher betrachtet werden müssen, so nehme ich keinen Anstand die von ihm gefundenen Werthe hier mitzutheilen.

Barometer-stand in Centim.	Höhen über Paris	Beobach. Temp. nach R.	Berech. Temp. nach R.	Diff.
76,52	0	22,25	—	—
53,81	1555,6	10,00	8,41	+1,59
51,43	1750,6	8,75	6,89	+1,86
49,68	1893,9	6,75	5,89	+0,86
49,05	1958,2	8,30	5,50	+3,00
45,28	2314,8	7,00	3,21	+3,79
44,04	2428,8	6,50	2,45	+4,05
43,53	2467,2	5,75	2,24	+3,01
42,49	2566,3	4,75	1,68	+2,57
41,41	2634,6	0,75	0,85	—0,10
41,14	2702,7	3,50	0,68	+2,82
39,85	2831,7	2,00	—0,11	+2,11
39,18	2889,4	0,00	—0,51	+0,51
39,01	2911,6	0,50	—1,07	+1,57
37,17	3099,3	—2,50	—1,74	—0,76
36,96	3133,4	—1,25	—1,87	+0,62
36,70	3151,9	—2,75	—2,64	—0,11
33,39	3532,0	—5,5	—4,04	—1,46
32,88	3579,9	—7,5	—4,35	—3,15

6. Bei den bisher benutzten Formeln wird auf die anfängliche Temperatur der comprimirten Luft keine Rücksicht genommen, sondern vorausgesetzt, dafs die ausgeschiedene Wärme der wachsenden Dichtigkeit jederzeit proportional sey. Poisson aber hat bei seiner gehaltvollen Bearbeitung dieses Gegenstandes gezeigt, dafs die Menge der ausgeschiedenen Wärme in einem gewissen Verhältnisse zu ihrer anfänglichen Temperatur steht. Die Formel, welche dieser grofse Geometer zur Berechnung der durch Compression frei werdenden Wärme mittheilt, von welcher schon im Artikel *Dampf*[1] Gebrauch gemacht ist, deren vollständige Entwickelung aber hier gleichfalls nicht mitgetheilt werden kann, gründet sich auf die Wärme des Raumes, und die Ausdehnung der Gasarten durch Wärme, wenn man ihr Volumen bei 0° C. = 1 setzt. Indem nämlich die letztere Gröfse 0,375 des anfänglichen Volumens beträgt, so nennt La Place[2] $\frac{100°}{0,375} = 266,67$ die Wärme des Raumes. Bezeich-

1 Th. II. S. 302. Vergl. G. LXXVI. 269.

2 Méc. Cél. V. p. 92.

nen dann t und t' die anfängliche und die durch Compression erzeugte Wärme, ϱ und ϱ' die anfänglichen und die nachherigen Dichtigkeiten, k endlich den Coefficienten der Ausdehnung, so giebt der analytische Ausdruck

$$t' = (266°,67 + t)\left(\frac{\varrho'}{\varrho}\right)^{k-1} - 266°,67$$

das Verhältniſs zwischen den Temperaturen und Dichtigkeiten. Wird diese Formel unmittelbar auf die durch Gay-Lüssac erhaltenen Resultate angewandt, so ist $\varrho' = 2\varrho$, und $t = -9°,5$. wonach aus $t' - t = 79°,16 + 0,2968\,t$ wenn man für t den Werth $-9,5$ setzt, $t' = 66°,84$ gefunden wird. Sänken also die Luftschichten aus der durch Gay-Lüssac erreichten Höhe bis zur Oberfläche der Erde herab, und würden bis auf das Doppelte ihrer Dichtigkeit hierdurch comprimirt, so würde hierdurch ihre Temperatur bis 66°,84 C. vermehrt werden. Nach Gay-Lüssac aber betrug die untere Temperatur nicht mehr als 30°,8, welches also einen Unterschied von 36° C. giebt. Ohne diese bedeutende Differenz hier weiter zu untersuchen, gehe ich zu noch einer Bestimmung über.

7. Auch Ivory hat in einigen Abhandlungen das Problem der Wärmeabnahme in gröſseren Höhen untersucht, wobei er in der Art der Darstellung der Methode Poisson's in dessen Abhandlung[1] über die Gesetze der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und der dabei statt findenden Ausscheidung der Wärme folgt. Zuerst hat Ivory in einer früheren Abhandlung[2] aus den Gesetzen der astronomischen Strahlenbrechung gezeigt, daſs die Dichtigkeit, die Temperatur und den Druck der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde = 1 gesetzt, für eine Abnahme der Dichtigkeit $= (1-\omega)$ der Druck derselben $= (1-\omega)^{\frac{5}{4}}$

---

1 Journ. de l'École Polytechnique. Cah. 14.

2 Phil. Trans. 1823. Besonders abgedruckt ist die Abhandlung unter dem Titel: Ivory on the astronomical refraction. Lond. 1823. 4. Aehnliche gelehrte Untersuchungen über die Ursache der mit der Höhe abnehmenden Wärme sind enthalten in Plana Recherches analytiques sur la densité des couches de l'Atmosphère et la théorie des Refraction-astronomiques. Turin 1823. 4. aus Mem. della R. Accad. di Torino. Diese Untersuchungen reihen sich an die oben erwähnten von L. Euler, Oriani, La Place u. a., können aber hier nicht weiter berücksichtigt werden.

wird, wonach die Function der Temperatur also $(1-\omega)^{\frac{1}{4}}$ beträgt. Diesemnach folgert Ivory ferner[1], dafs mit Beibehaltung der angegebenen Bezeichnung der Elasticität, des Druckes und der Dichtigkeit der Luft über der Erdoberfläche durch 1, in irgend einer gegebenen Höhe

die Elasticität $= p = \left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota}{1+\alpha\tau}\right)^3 \left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota+\alpha\vartheta}{1+\alpha\tau}\right)$

die Dichtigkeit $= \varrho = (1-\omega) = \left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota}{1+\alpha\tau}\right)$ (I.

sey, wenn τ die Temperatur an der Erde, ι die Zahl der Thermometergrade, um welche die Temperatur vermindert wird, wenn die Luft von der Dichtigkeit $= 1$ zu $(1-\omega)$ übergeht, und ϑ die durch alle anderweitigen Ursachen hervorgebrachten Veränderungen der Temperatur bezeichnet, wodurch die Luft in der gegebenen Höhe afficirt werden kann. Geht man hiervon aus, so folgt nach Ivory ferner[2], dafs wenn h und D den Barometerstand und die zugehörige Dichtigkeit der Luft in der Höhe x, dagegen h′ und D′ diese nämlichen Gröfsen an der Oberfläche der Erde bezeichnen

$$h = \int - D\,dx$$

sey. Ist dann l die Länge einer Luftsäule von gleicher Dichtigkeit $= D'$ und dem Drucke einer Quecksilbersäule $= h'$ gleich, so ist $h = l D'$ und

$$\frac{h}{h'} = \int - \frac{D}{D'} \times \frac{dx}{l}.$$

Hierin ist l eine veränderliche, von der Temperatur an der Erdoberfläche abhängige Gröfse. Nimmt man hierbei den Nullpunct der Centesimalscale als Normalgröfse an, so wird für die Temperatur τ die Höhe $l' = l(1+\alpha\tau)$ woraus

$$\frac{h}{h'} = \int - \frac{D}{D'} \times \frac{dx}{l(1+\alpha\tau)}$$

wird. Setzt man aber $s = \frac{x}{l(1+\alpha\tau)}$, so wird

$$p = \int - \varrho\, ds = \int - (1+\omega)\, ds \quad \text{(II.}$$

und die beiden Gleichungen I. und II. bezeichnen die physischen Verhältnisse zwischen der Elasticität, Dichtigkeit, Tem-

1 Phil. Mag. LXVI. 3.

2 Ebend. p. 87.

peratur und Höhe einer Luftmasse in einer gewissen Höhe in ihrem Gleichgewichte. Alle diese Stücke hängen ab von den beiden veränderlichen Gröfsen ι und ϑ, und wenn $t = \iota - \vartheta$ gesetzt wird, von den veränderlichen Gröfsen ι und t.

Ivory bezieht sich auf Dalton's Gesetz, wonach die Lufttheilchen durch das Aufsteigen ausgedehnt werden, und somit eine ihrer Ausdehnung proportionale Wärmeverminderung erleiden. Die Vergleichung des Barometer- und Thermometerstandes in verschiedenen Höhen müfste daher ein Mittel abgeben, das Gesetz der Verminderung des Druckes und der Abnahme der Wärme aus der Erfahrung zu finden. Er schlägt ferner vor, hierbei die durch Ramond aus 38 Beobachtungen gefundene mittlere Gröfse, wonach 164,7 Meter 1° C. Wärmeabnahme geben, und das Gesetz, dafs die Verminderungen der Wärme der Höhen direct proportional sind, zum Grunde zu legen. Ivory setzt dann aber der Vergleichung wegen in seiner Formel $\vartheta = 0$; $\iota = t$; $\varrho = 0,5$; $\tau = 31°$; und findet hiernach

$$\iota = \frac{1 + \alpha\tau}{\alpha}\left(1 - \varrho^{\frac{1}{3}}\right)$$

also die Temperaturverminderung $\iota = 61°$, folglich nahe 21° gröfser, als Gay-Lüssac's Beobachtung gegeben hat. Den auf diese Weise erhaltenen Werth vergleicht er mit demjenigen, welchen Poisson's Formel für die Berechnung der Geschwindigkeit des Schalles[1] geben soll, wenn man die Menge der ausgeschiedenen oder gebundenen Wärme den Verdichtungen und Verdünnungen der Luft direct proportional setzt, also $= A \times \omega$. Hierin soll dann der beständige Coefficient $A = 116°$ und $\omega = 0,5$ seyn, wonach eine Temperaturverminderung von 58° C. herauskommt[2]. Ivory sucht dann weiter darzuthun, auf wel-

---

1 S. Journ. de l'Éc. Polyt. Cah. 14.

2 Hierbei liegt wohl ohne Zweifel ein Versehen Ivory's zum Grunde. Poisson nimmt nämlich a. a. O. allerdings an, dafs eine Verdichtung von $\frac{1}{116}$ eine Temperaturerhöhung von 1° C. giebt, worin ihm auch Biot (nach oben No. 2.) folgt. Allein hiernach mufs eine Verdichtung von $\frac{116}{116} = 1$ nothwendig 116° C. geben, wenn man anders die unzulässige Bedingung zugesteht, dafs die ausgeschiedene Wärme allgemein der Zusammendrückung direct proportional sey. Ivory sieht nun diese Zahl als eine beständige an, und bringt her-

che Weise ein Gleichgewicht in der Atmosphäre und ein Zustand der Ruhe ihrer Theilchen entstehen und bestehen kann, wenn dieselben entweder aufsteigen oder herabsinken, wobei sie im ersteren Falle durch Wärmebindung kälter, im letzteren durch Entbindung wärmer werden müssen, ohne daſs jedoch diese Demonstration in Gemäſsheit des durch seine Formel erhaltenen Werthes zu einer genügenden Erklärung dieses schwierigen Problemes hinreicht. Indeſs glaubte ich dieselbe vollständiger mittheilen zu müssen, da sie sich unmittelbar auf den fraglichen Gegenstand bezieht.

c. Die Uebersicht der bisher mitgetheilten Untersuchungen welche sich auf die Versuche und Berechnungen der geübtesten Experimentatoren und gewandtesten Geometer gründen, führt leider zu der Ueberzeugung, daſs die Verschiedenheit der Temperatur in ungleichen Höhen auch aus dem zweiten Grunde, nämlich der durch Expansion der Luft gebundenen Wärme nicht genügend erklärt werden kann. Wenn aber aus dem ersteren Argumente[1], nämlich der geringeren Wärmeerzeugung durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen folgt, daſs die Temperatur

aus, daſs für eine Verdünnung bis 0,5 eine Verminderung der Wärme $=116 \times 0{,}5 = 58^{\circ}$ erhalten werde. Allein wenn man Luft von irgend einer Dichtigkeit $=1$ comprimirt, bis sie $=2$ wird, wie bei Gay-Lussac's Versuche der Fall war, wenn man von oben an nach unten rechnet, weswegen auch in Poisson's Formel oben $\varrho' = 2\varrho$ gesetzt ist, so ist ihre Dichtigkeit dann doppelt, die Vermehrung derselben aber $1 = \frac{116}{116}$, und hiernach müssen nothwendig 116° C. Wärme ausgeschieden werden. Auf gleiche Weise scheint mir ein Miſsgriff von Clement und Desormes begangen zu seyn, indem sie im Journ. de Ph. LXXXIX. 334. die Wärme des Raumes $= 116^{\circ}$ setzen, weil $\frac{116}{116} = 1$ die Dichtigkeit der Luft $=1$ gebe. Allein von der absoluten Leere bis zur Dichtigkeit $=1$ giebt es eine unendliche Menge der Dichtigkeiten, weil $\frac{1}{0} = \infty$ ist. Wird aber angenommen, daſs sich die Bestimmung auf die Dichtigkeit und Temperatur der von ihnen zum Versuche benutzten Luft beziehe, dann ist von dieser allerdings $\frac{116}{116} = 1$. Hieraus ergiebt sich aber, daſs man bei diesen Bestimmungen allezeit von einer gewissen bestimmten Dichtigkeit und Temperatur der Luft ausgehen müsse, wie nicht allezeit geschehen ist, und hieraus erklären sich zum Theil die abweichenden Resultate.

1 S. oben a.

auf den Spitzen der Berge höher seyn müfste, als die Erfahrung sie giebt, so folgt dagegen aus dem zweiten, auf die durch Expansion erzeugte Kälte gebaueten, dafs es in der Höhe ungleich kälter seyn müsste, als die Beobachtung angiebt. Auf den ersten Blick könnte man zu dem Schlusse veranlafst werden, dafs diese beiden entgegengesetzten Bedingungen einander ausgleichen, allein bei der verhältnifsmäfsig geringen Anzahl der Bergspitzen und Plateaus auf der Erdoberfläche zeigt sich diese Hypothese als unzulässig, und es müfste sonach die Kälte in der Höhe weit gröfser seyn, als die Beobachtungen sie geben. Vergleichen wir aber beide Ursachen mit einander und mit der Erfahrung, so wird die Sache nur noch verwickelter. Hiernach sollte nämlich die Temperatur der Bergspitzen höher seyn, als die durch Expansion bedingte der gleich hohen Luftschichten, allein der allgemeinen Erfahrung nach bilden sich Nebel und Wolken leicht und viel an den Spitzen hoher Berge, und letztere sind überhaupt leicht feucht, weil sich an ihnen die Dämpfe niederschlagen, woraus eine niedrigere Temperatur derselben hervorgeht. Prechtl[1] meint zwar, diese gröfsere Kälte der Bergspitzen rühre von der gemeinschaftlichen Wirkung der Sonne und der stets wechselnden trockenen und dünneren Luftschichten her, wodurch die Verdunstungskälte vermehrt würde, allein die Sonnenstrahlen bringen nach den oben angegebenen Versuchen gerade die entgegengesetzte Wirkung hervor, und wenn sich an den Spitzen der Berge die Wasserdämpfe der Luft verdichten, so müfste auch hierdurch ihre Wärme vermehrt werden; warum aber die Wasserpartikeln auf ihnen mehr als in der Luft verdunsten sollten, und zwar so, dafs eben dadurch wieder eine Kälte erzeugt würde, welche die bedeutenden Niederschläge bedingte, darüber ist gar kein genügender Grund angegeben.

Aus allen angegebenen Berechnungen, (mit Ausnahme der auf Prechtl's und Leslie's Formel gegründeten, welche letztere hier unbeachtet bleiben kann) folgt ferner, dafs die aufsteigende Luft durch ihre Expansion einen höheren Grad der Erkältung annehmen mufs, als der Region zugehört, in welcher sie anlangt. Diese Folgerung an sich könnte man immerhin bestehen lassen und annehmen, dafs durch das stete Aufsteigen

1 G. LXXVI. 264.

solcher Luftheilchen eine verhältnifsmäfsig wärmere, auf der Erde zunächst ruhende und bis zu einer unbestimmten Höhe reichende Atmosphäre gebildet würde, und daraus könnte es sogar erklärlich werden, dafs die aufsteigenden Wasserdämpfe in höheren Regionen zu Wolken niedergeschlagen werden. Es ergeben sich aber sehr bald die auffallendsten Widersprüche, selbst bei der Voraussetzung einer solchen wärmeren, die Erde zunächst an der Oberfläche umgebenden Atmosphäre, sobald man die Erscheinung umkehrt, und die Luft aus höheren Regionen herabsinken läfst. Bei der Luftfahrt von Gay-Lussac waren alle Bedingungen günstig, um eine solche Atmosphäre recht hoch hinaufzurücken, weswegen auch hiernach 173 Met. auf 1° C. kommen, statt dafs d'Aubuisson für ähnliche Breiten im Mittel aus vielen Versuchen nur 147 Met. für eine gleiche Temperaturdifferenz erhielt [1]. Nach seiner Erfahrung betrug der Unterschied der Temperatur der ganzen Station 40°,3 C., nach den Berechnungen der Compression vermittelst der Formeln der französischen Gelehrten und Ivory's mufste er aber 7° bis 36° mehr betragen. Wären diese richtig, so würde hieraus folgen, dafs die aus höheren Regionen herabsinkenden Luftschichten in den unteren eine aufserordentliche Wärme erzeugen müfsten oder vielmehr es könnten gar keine herabsinken, weil sie in gröfserer Tiefe sogleich durch die entbundene Wärme heifser, somit specifisch leichter werden, und wieder ins Gleichgewicht kommen würden. Mit diesem letzteren Argumente könnten jene Gelehrten allerdings die Resultate ihrer Versuche vertheidigen, stände nur nicht die Erfahrung entgegen. Wenn ich nämlich von dem noch etwas dunkelen Phänomene der Hagelbildung abstrahire, wobei aus höheren Regionen herabkommende, und die Strömungen der Luft nach sich ziehende Körper eine aufserordentliche Kälte verbreiten, die sich meistens lange Zeit erhält, so ist es ein allbekanntes Phänomen, dafs die von hohen Bergen herabsinkenden Winde empfindlich kalt sind, anstatt dafs sie nach jenen Berechnungen auffallend heifs seyn müfsten. Auch v. Humboldt [2] bemerkt ausdrücklich, dafs bei den Cordilleren wie in Abyssinien Winde entstehen, indem die kalte Luft von den hohen, beeiseten Bergen herabstürzt und die

1 S. oben D. a und b.

2 Reis. d. Ueb. IV. 153.

wärme zurückdrängt. Endlich müfsten die Orkan-artigen Stürme, welche durch herabstürzende Schneelavinen erzeugt werden, und wobei die obere Luft offenbar den fallenden Schneemassen nachfolgt, folglich in grofser Schnelligkeit aus sehr bedeutenden Höhen in tiefere Gegenden versetzt wird, nicht blofs eine laue, sondern eine dem Gefühle nach ganz eigentlich heifse Luftströmung bilden, welche indefs nirgend beobachtet ist[1]. Im Gegentheile der genannten Erscheinungen müfsten die aus den Ebenen auf die Berge durch Winde hinaufgetriebenen Luftschichten oben eine empfindliche Kälte zeigen, welches indefs gleichfalls der Erfahrung widerstreitet, indem solche, auch die unteren Luftschichten bewegende und auf hohe Berge führende, Stürme vielmehr lau sind. Der Erfahrung gemäfs müssen wir also annehmen, dafs der Unterschied der Temperaturen ungleicher Höhen gröfser ist als er seyn würde, wenn er der Wirkung der Expansion oder Compression der Luft proportional wäre.

Sollen hiermit die oben mitgetheilten Bestimmungen in Einklang gebracht werden, so ist dieses schon von selbst der Fall bei der durch Prechtl gegebenen, weniger dagegen bei denen von Clement und Desormes, Gay-Lussac und Welter, La Roche und Berard. Die Ursache hiervon mag in dem Umstande liegen, dafs die von Prechtl zu seinen Versuchen angewandte Luft wahrscheinlich bis 0° R. erkaltet wurde, und so mufste die durch Expansion gebundene Wärmemenge geringer gefunden werden als von den französischen Physikern, weil nach Poisson's Untersuchung die Temperatur der Luft allerdings die durch Compression ausgeschiedene Wärme bedingt[2]. Die gröfste Differenz giebt indefs Poisson's Formel, und von dieser sollte man wegen der hohen Autorität dieses Geometers billig die genaueste Uebereinstimmung erwarten. Letztere läfst sich nur dann erhalten, wenn man annimmt, dafs Poisson allerdings die Menge der durch Compression ausge-

---

1 Vergl. G. LXIV. 214.

2 Die Versuche der französischen Physiker sind meistens in der Absicht angestellt, um aus der Menge der ausgeschiedenen Wärme die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles zu erklären. Da Letzteres um so leichter ist, je gröfser die durch Compression erzeugte Wärmemenge gefunden wird, so wäre es wohl möglich, dafs aus diesem Bestreben die gefundenen Bestimmungen etwas vergröfsert wären.

schiedenen Wärme richtig zu finden lehre, dabei aber zu berücksichtigen sey, daſs man zugleich die relative Wärme derjenigen Luft, welche die frei gemachte Wärme wieder aufnimmt, in Betrachtung ziehen müsse. Nach DE LA ROCHE und BERARD[1] ist aber die relative, oder auf das Volumen sich beziehende Wärme der Luft unter einem Drucke von 1,0058 Met. Quecksilberhöhe = 1,2396 wenn sie unter einem Drucke von 0,7405 M. = 1 ist. Setzt man die relativen Wärmen den Dichtigkeiten proportional, so würde die der Luft von doppelter Dichtigkeit $= 1,2396 \times \frac{2}{1,3538} = 1,8252$ betragen; nach CLEMENT und DESORMES aber ist die relative Wärme der halb so dünnen Luft = 0,693, die der einfach dichten = 1 gesetzt. Diesem gemäſs würden also die durch POISSON's Formel erhaltenen 66°,84 nach jener ersten Bestimmung $\frac{66,84}{1,825} = 36°,6$ nach der letzteren aber $66,84 \times 0,693 = 46°,32$ geben, welches den Beobachtungen allerdings näher kommt, sie aber noch nicht völlig erreicht[2].

e. Als endliche Resultate scheinen mir folgende aus allen diesen Betrachtungen zur Erklärung der vorliegenden höchst verwickelten Erscheinungen hervorzugehen.

1. Die Wärme der Erde im Ganzen, mit Einschluſs ihrer Atmosphäre, ist als eine ihr eigenthümliche anzusehen, welche ihr wahrscheinlich aus einer früheren Epoche ihrer ursprünglichen Bildung geblieben ist, und deren erste Ursache hier nicht weiter zur Untersuchung kommen kann. Sie hat sich durch verschiedene theils bekannte theils unbekannte Ursachen in dasjenige Gleichgewicht gesetzt, welches wir gegenwärtig als mittlere Temperatur vom Aequator an bis zu den Polen hin mehr oder minder genau aus der Erfahrung kennen, und wird in diesem stabilen Zustande bleiben, entweder weil ein so groſser Körper nur unmerklich erkaltet oder, was mir ungleich wahrscheinlicher dünkt, weil auch die Wärme der Erde vermöge der Gesetze der Anziehung diesen Planeten als eigenthümlich zugehörige Calorisphäre nicht verlassen, und nicht im leeren

1 Ann. de Chim. LXXXV. 72 u. 113.

2 Es ist Th. II. S. 302 schon gezeigt, daſs diese Formel auch für Dampf zu hohe Werthe der durch Compression frei werdenden Wärme giebt.

Raume, wo es keine Anziehung zu ihr giebt, sich zerstreuen kann.

2. Die Sonnenstrahlen sind das wirksame Agens, wodurch die Wärme stets aufs Neue hervorgerufen wird. Die Aetiologie dieses Processes kann zwar erst unter dem Artikel *Wärme* genauer erörtert werden, indeſs ist es nicht überflüssig, hier vorläufig zu bemerken, daſs mir die Sache mehr eine *Aufregung* als eine eigentliche *Production* von Wärme zu seyn scheint. Hiernach wäre es denn leichter erklärlich, daſs sich die gröſsere Wärme allmälig unter dem Aequator aufgehäuft hat, wo diese Aufregung anhaltender und stärker statt findet. Es folgt dann aus dieser Ansicht nothwendig, daſs beim Aufhören der excitirenden Ursache die erregte Wärme sofort durch die Erde wieder gebunden wird, woraus manche gemeine Erscheinungen erklärlich werden. Man leitet meistens die Erkältung, welche bei der Abhaltung der Sonnenstrahlen eintritt, aus einer Strahlung der Wärme ab; allein wenn man an einem heiteren heiſsen Sommertage ein Thermometer auf schwarzes Erdreich in die Strahlen der Sonne legt, so steigt es leicht 10° R. und mehr über die Temperatur im Schatten, und giebt man ihm dann durch ein hinlänglich groſses darüber gehaltenes Bret Schatten, so sinkt es sofort um 5° R. und darüber. Hierbei läſst sich bei umgebenden heiſseren Luftschichten nicht füglich an eine Strahlung denken.

3. Auſser den Winden, welche schon oben als bekannte, die regelmäſsige Erwärmung störende Luftbewegungen angegeben sind, steigen die über der Erdoberfläche erwärmten Luftschichten auf, werden hierdurch expandirt und kälter, jedoch ist ihre dann bleibende Temperatur etwas gröſser, als die ihrer Ausdehnung proportionale seyn würde, theils weil die Temperatur nach oben schneller abnimmt, als nach der Wärmebindung durch Expansion erfolgen müſste, oder, falls diese Differenz gar nicht statt finden oder nur unbedeutend seyn sollte, weil die über der Erde erwärmten Luftschichten bedeutend erhitzt und durch Wärme ausgedehnt sind. Das Aufsteigen dieser wärmeren Luftschichten geschieht aber in der Luft selbst nach bekannten Gesetzen nur langsam, und ist bei weitem am stärksten und anhaltendsten, auch erreichen diese Luftschichten die gröſsten Höhen, wenn anhaltender Sonnenschein die Erde trifft, weswegen nach anhaltend windstillen und heiſsen Tagen warme,

mit vielem Wasserdampf beladene Luftschichten unglaubliche Höhen erreichen, und die Bildung der Gewitter und Hagelschauer bedingen. Im Allgemeinen aber wird hierdurch zunächst um die Erde eine Sphäre verhältnifsmäfsig wärmerer Luftschichten gebildet, so dafs von der Erdoberfläche an gerechnet anfangs gröfsere Höhen für gleiche Unterschiede der Temperatur erfordert werden als bei bedeutenderen Erhebungen. Sobald im Gegentheil die erregenden Sonnenstrahlen zu wirken aufhören, erkaltet der Erdboden, selbst wenn bei völlig bewölktem Himmel keine sogenannte Strahlung nach dem kosmischen Raume hin statt findet, die zunächst berührenden Luftschichten werden kälter, verlieren an Elasticität, und die ganze Luftsäule sinkt tiefer herab. Hierbei ereignet es sich dann sehr häufig, dafs zwischen zwei kälteren Luftschichten eine wärmere schweben bleibt, wie man im Sommer beim Herabsteigen von einem hohen Berge am Abend oft und leicht wahrnimmt. Im Allgemeinen sinken aber die oberen kälteren Lufttheilchen, insbesondere bei ruhiger Atmosphäre herab, und weil diese aus höheren Regionen kommend durch die Verdichtung beim Herabsinken *weniger* Wärme frei machen, als die unteren besitzen, indem nicht blofs die *Wärmebindung* der aufsteigenden Lufttheilchen durch Expansion *geringer* ist, als die, welche dem Dichtigkeitszustande der Höhen proportional gesetzt werden mufs, sondern im umgekehrten Falle auch die *Wärmeentbindung* der herabsinkenden durch Compression, so erzeugen diese die empfindliche Kälte der Nacht, nach Gewittern u. s. w. Endlich ist auch die Erregung der Wärme der Erdoberfläche und die Erwärmung der zunächst berührenden Luftschicht so viel stärker, je weniger Wärme auf Dampfbildung verwandt wird, oder je trockner der Boden ist; ebendaher aber ist ebendaselbst in Gemäfsheit einer blofsen Umkehrung dieses Processes die nächtliche Kälte desto empfindlicher. Dieses zeigt sich vorzugsweise in den Ebenen Asiens nach den Beobachtungen Elphinstone's und anderer Reisender.

4. Weil die Abnahme der Temperatur bei zunehmenden Höhen in Gemäfsheit der unaufhörlichen Luftströmungen und der hierdurch bedingten Mischungen der einzelnen Massen und Schichten der atmosphärischen Luft hauptsächlich, wo nicht ausschliefslich durch die Bindung und Entbindung der Wärme in Folge ihrer Expansion oder Compression bedingt wird, so

mufs im Allgemeinen die Abnahme der Temperatur eine geometrische Reihe bilden, weil sie den Dichtigkeiten proportional ist. Inzwischen bewirken eben die unter vielfachen Bedingungen und kaum zu übersehenden Modificationen aufsteigenden Luftschichten, und deren hiernach vielfach wechselnde Temperatur, dafs sich dieses Gesetz überall durch die Erfahrung nicht auffinden läfst, weswegen auch verschiedene Gelehrte eine harmonische oder eine arithmetische, oder eine zwischen einer geometrischen und arithmetischen liegende Progression anzunehmen geneigt gewesen sind.

5. Die Ursache endlich, weswegen die Bergspitzen so kalt sind, selbst kälter als die Luft in gleichen Höhen, wie auf allen Fall aus Gay-Lüssac's Beobachtungen[1] und auch aus Sicharow's und Beaufoy's minder genauen Messungen hervorgeht, diese ist allerdings schwer aufzufinden. Diejenigen Gründe, welche man gewöhnlich zur Erklärung dieser Erscheinung anführt, habe ich oben angegeben, und zugleich meine Zweifel dagegen geäufsert, welche unter der Voraussetzung, dafs die Wärmeentwickelung durch die Sonnenstrahlen dort bedeutend stark und die Temperatur der umgebenden Luftschichten höher ist als ihre eigene, zu nahe liegen, als dafs ich sie nochmals wiederholen sollte.

6. Wenn es diesemnach als ausgemacht anzusehen ist, dafs die Bergspitzen kälter sind, als die freie Luft in gleicher Höhe, ausgedehnte Hochebenen dagegen bedeutend wärmer wenigstens als die Spitzen der Berge, und dafs sich für das erstere Phänomen um so weniger ein genügender Grund angeben läfst, als aus der Anwendung der bekannten Naturgesetze gerade das Gegentheil folgen müfste, so wird es erlaubt seyn, eine Hypothese einzuführen, welche mir noch aufserdem verschiedene andere, zur Physik der Erde gehörige Schwierigkeiten zu beseitigen geeignet scheint. Ich denke mir nämlich die Erde als einen mit einer eigenthümlichen Wärmeatmosphäre begabten Körper, oder mit andern Worten, die ursprünglich heifse Erde ist durch Be-

1 Vergl. Prechtl bei G. LXXVI. 265. Gay-Lüssac fand die Temperatur 0 erst in einer Höhe von 2889 T. über Paris oder in 2909 T. über dem Meere, obgleich diese Höhe die Schneegrenze der Pariser Breite weit und die Spitze des Montblanc um 468,3 T. übertrifft.

dingungen, deren Erörterung als blofs hypothetisch nicht hierher gehört, bis auf den gegenwärtigen Grad ihrer Temperatur erkaltet, und mufs in ihrem jetzigen Zustande der Wärme verharren, weil keine Bedingungen ihres weiteren Erkaltens vorhanden sind. Indem nämlich eine erhitzte Kugel so viel langsamer erkaltet, je weniger leitend das sie umgebende Medium ist, so mufs die Erde, welche im absolut leeren Raume schwebt, gar nicht erkalten. Bei jedem erwärmten, mit Hervorragungen und Spitzen versehenen Körper verlieren aber die letzteren die Wärme am schnellsten, weil ihre Anziehung gegen dieselbe am geringsten ist, und so mufs also die nach gleichen Gesetzen an die Erde gebundene Calorisphäre an den Bergspitzen die geringste Intensität haben. Hiernach nimmt also die Temperatur bei zunehmender Höhe über flachen Ebenen am langsamsten, über ausgedehnten Bergebenen, so fern sie gegen die Masse der Erde nur gröfsere Hervorragungen, gleichsam stumpfere Spitzen sind, schneller[1], auf Bergspitzen dagegen am schnellsten ab, und letztere können auch durch mancherlei günstige Bedingun-

---

1 Dieser Satz kann nicht blofs zweifelhaft scheinen, sondern man könnte auch in den oben E. a. 1 u. 2. mitgetheilten Beobachtungen v. Humboldt's eine directe Widerlegung desselben finden, indem die dort für 1° C. Temperaturdifferenz angegebenen Höhen gröfser sind, als die von Gay-Lüssac gefundenen. Obgleich dieses richtig ist, so fand doch eben so unzweifelhaft der kühne Aëronaut 0° der Temperatur erst in 17454 P. F. Höhe, mithin über 2000 F. höher als die Schneegrenze unter der Linie. Dafs durch die anhaltende hohe Temperatur der mittleren Breiten die warmen Luftschichten bedeutend in die Höhe gehoben werden können, ist allerdings richtig, allein der angegebene Unterschied ist zu bedeutend, als dafs er hieraus erklärt werden könnte. Ein allerdings unverkennbarer Grund, aus welchem eine gröfsere Erkaltung der Bergspitzen gefolgert werden kann, ist der Schnee, welcher im Winter auf denselben fällt, und die Einwirkung der Sommerwärme mindestens eine Zeit lang hemmt. Allein hiergegen kann man wieder fragen, warum unter dem Aequator, wo es keinen eigentlichen Winter giebt, die Schneegrenze nicht höher hinaufgerückt ist, und warum auf Bergspitzen, welche die Schneegrenze nicht erreichen, und obendrein aus nackten Felsen bestehen, von denen der Schnee alsobald herabgleitet, die Temperatur nicht höher gefunden wird? Im Ganzen mufs man zu der Ueberzeugung gelangen, dafs die Schwierigkeiten der Erklärung sich mehren, je mehr man die einzelnen Phänomene zu vereinigen sich bemühet, und jene werden nicht eher beseitigt werden, bis wiederholte Luftfahrten genauere Thatsachen darbieten.

gen der Erwärmung nicht bleibend auf einer höheren Temperatur erhalten werden, weil die Calorisphäre der Erde sich mit der letzteren als ebenes Sphäroid gedacht stets in einem gewissen Gleichgewichte erhält. Ob endlich diese Colorisphäre gewissen Schwankungen ausgesetzt seyn mag, woraus manche räthselhafte Wechsel der Wärme und Kälte verschiedener Gegenden in einzelnen Jahren erklärt werden könnten, muſs vor der Hand noch unentschieden bleiben.

VI. Bestandtheile der Erde.

Ein eigenthümlicher und ausgedehnter Theil der Naturwissenschaften im Allgemeinen, die *Geognosie*, beschäftigt sich mit der Untersuchung der Bestandtheile unsers Erdkörpers. Diesem muſs das Ausführliche überlassen bleiben, und hier darf nur das Allgemeinste kurz berührt werden.

A. Erdkern.

Woraus der eigentliche Kern unserer Erde bestehe, wird wohl dem menschlichen Forschungsgeiste stets verborgen bleiben. Eine bei verschiedenen Geognosten gangbare Meinung, der Erdkern bestehe aus Granit, läſst sich nicht sowohl aus dem gröſseren spec. Gewichte der Erde, als die des Granit's ist, widerlegen, indem der Druck gegen die unteren Schichten bisher noch nicht bestimmt werden konnte[1], wohl aber findet sie eine Widerlegung in der Erscheinung, daſs basaltische Laven verschiedene Granitgebirge von unten her durchbrochen, und sich über und um dieselben gelagert haben, welche doch nach aller Wahrscheinlichkeit unter dem Granite befindlich seyn muſsten. Einige Geognosten, z. B. Breislak[2] finden es wahrscheinlich, daſs der Erdkern aus Magneteisenstein bestehe. Diese Hypothese scheint im tellurischen Magnetismus eine Unterstützung zu finden, welchen viele Physiker, z. B. L. Euler[3], T. Mayer[4],

---

1 Vergl. oben Nr. IV. *Dichtigkeit der Erde.*

2 Institutions géologiques par Scipion Breislak cet. Milan. 1818. III vol. 8. I. 55.

3 Mém. de Berl. 1757 u. 1766.

4 Nach J. T. Mayer Naturl. §. 610. Vergl. Gott. Gel. Anz. 1762. p. 377. Mollweide bei G. XXIX. 1. ff.

insbesondere aber v. HUMBOLDT, BIOT[1] und HANSTEEN[2] von einem oder mehreren Magneten im Inneren der Erde abzuleiten geneigt sind, desgleichen im spec. Gewichte dieses Körpers, welches BREISLAK im Mittel = 7 setzt, wonach es also vom mittleren der Erde = 5 nicht viel abweicht. Dafs sich diese Hypothese gut darstellen, auch mit den grofsen Massen gefundener Magneteisensteines, desgleichen mit der mittleren Dichtigkeit der Erde in Einklang bringen lasse, wenn man eine äufsere Rinde von grofser Mächtigkeit und aus leichterem Gesteine bestehend annimmt, ist augenfällig; im Ganzen aber kann sie keinen grofsen Beifall finden. Zuvörderst ist es sehr zweifelhaft, ob sich die täglichen und jährlichen Variationen des Magnetismus mit der Annahme eines magnetischen Kernes in ihrem Innern in Einklang bringen lassen, wie mit Grunde bezweifelt wird[3]. Zudem zeigt sich der Magneteisenstein nicht magnetisch, so lange er im Innern der Erde ist, sondern nimmt diese Eigenschaft erst an, wenn er an die äufsere Atmosphäre kommt[4], auch zeigen solche mächtige unterirdische Lagen keine merkliche Anziehung auf die Magnetnadel, ja der tellurische Magnetismus müfste überhaupt ungleich stärker seyn, als er sich äufsert, wenn der ganze Erdkern, oder nach der Angabe des spec. Gewichtes, das des Magneteisensteines = 7 und das der übrigen Bestandtheile, (die Menge des Wassers und der leichteren Substanzen hoch angeschlagen) = 2, das mittlere aber = 5 gesetzt, $\frac{3}{5}$ der ganzen Erde einen natürlichen bipolaren Magnet bildete. Ferner aber läfst uns diese Hypothese noch über einen sehr grofsen Theil der Erde in Ungewifsheit. Beständen nämlich $\frac{3}{5}$ des ganzen Erdkörpers aus Magneteisenstein, so würde dieser eine Kugel von 810 geog. Meilen Halbmesser bilden, die Rinde aber bis zur Tiefe von 150 Meilen aus andern unbekannten Stoffen bestehen, von denen wir nur sehr wenige kennen, welche die

---

1 Traité cet. III. chap. X. p. 127. ff.

2 Untersuchungen über den Magnetismus d. Erde u. s. w. Christiania 1819. 4.

3 S. Th. I. S. 146.

4 S. v. LEONHARD Handbuch der Oryktognosie. Heidelberg 1821. S. 86.

äufsere Kruste bilden. Dafs einzelne, bis zur Erdoberfläche ragende Lagerungen von Magneteisenstein Fortsetzungen des Kernes aus einer solchen Tiefe seyn sollten, ist ohnehin eine unnatürliche Voraussetzung.

Der angegebenen Hypothese sehr nahe kommend ist diejenige, wonach die Erde im Allgemeinen aus Meteorsteinmasse und Meteoreisen bestehen soll. Zu dieser müssen sich alle diejenigen bekennen, welche nach dem Vorgange der Gebrüder Marschall von Bieberstein und v. Zach's die Erde als ein allmälig entstandenes Conglomerat von Meteorolithen ansehen[1]. Unleugbar läfst sich diese Hypothese mehr als jede andere ausschmücken. Sie wird sehr unterstützt durch die zahlreichen Meteorsteinfälle, welche die geschichtliche Untersuchung nachweiset[2], wonach diese Substanzen gleichsam dem Weltraume anzugehören scheinen, wie die Sonne mit ihren Planeten selbst. Wollte man ferner nach überwiegenden Gründen annehmen, dafs diese schon im planetarischen Raume leuchtenden Massen an sich glühend sind, so käme hiermit die neuerdings sehr wahrscheinlich gemachte Hypothese einer noch jetzt existirenden höheren Temperatur des Erdkerns in Einklang[3]. Das mittlere spec. Gewicht der Erde liefse sich mit dem der Meteorolithen gleichfalls leicht in Uebereinstimmung bringen, denn obgleich das der eigentlichen Steinmassen nur 3,5 beträgt, und selten auf 4,28 steigt, so mufs man dagegen die grofse Menge des gleichfalls herabfallenden gediegenen Eisens in Anschlag bringen, dessen spec. Gew. im Mittel 7,6 beträgt[4], und woraus also nur $\frac{14}{34}$ mithin nicht völlig $\frac{1}{3}$ der Erde bestände. Aufserdem hat es allerdings etwas Auffallendes, dafs der Olivin sich auf gleiche Weise in dem höchst wahrscheinlich aus der Erdmasse emporgequollenen Basalte findet, als in den Meteorsteinen, und dafs überhaupt die Bestandtheile der letzteren manchen Doleriten sehr ähnlich sind[5]. Wenn aber manche Sub-

1 Vergl. *Geologie*.

2 Vergl. *Meteorsteine*.

3 S. oben V. A.

4 Handbuch der Oryktognosie von K. C. v. Leonhard. 2te Aufl. Heid. 1826. S. 713.

5 S. G. Rose in Pogg. Ann. IV. 173.

stanzen, welche die Oryktognosie liefert, als Gold, Silber, Zinn u. s. w. in den bisher untersuchten Meteorolithen noch nicht aufgefunden sind, so muſs man dagegen berücksichtigen, wie gering der Antheil dieser Stoffe im Verhältniſs zur Gesammtmasse der Erde ist. Man dürfte dann ferner nur annehmen, daſs bloſs aus der oberen Kruste der Erde die schwereren Bestandtheile sich allmälig niedergesenkt hätten, um ihr das geringere spec. Gew. derjenigen Steinarten zu geben, welche gegenwärtig die Erdrinde bilden, auch läſst sich selbst die groſse Menge des überall verbreiteten Eisens, welches einen so wesentlichen Bestandtheil der Meteorsteine ausmacht, zur Unterstützung dieser Hypothese anführen, welche jedoch vor der Hand noch nicht über die Grenzen einer bloſsen Hypothese ausgedehnt werden darf.

Zunächst nur als ein Spiel der Phantasie und um die Folgerungen anschaulich zu machen, auf welche die Annahme einer allgemeinen Zulässigkeit des mariotteschen Gesetzes führt, läſst sich endlich die Hypothese betrachten, wonach der Kern der Erde aus atmosphärischer Luft bestehen soll. Franklin[1] hat dieselbe aufgestellt, und Chladni[2] später sie auszuschmücken gesucht. Es läſst sich allerdings leicht darthun, daſs die Luft unter der Voraussetzung einer nach dem Centro der Erde auf gleiche Weise zunehmenden Dichtigkeit, als diese aus einer gegebenen Höhe bis zur Oberfläche der Erde wirklich statt findet, sehr bald die dichtesten Körper an spec. Gew. übertreffen müſste. Aus der Anwendung der bekannten Formel von de Lüc für die barometrischen Höhenmessungen, wonach die Höhe

$x = 10000^{t} \log. \frac{H}{h}$ ist, und welche für diesen Zweck mit Weglassung der Correctionen völlig genügt, wenn ferner nur in genäherten Werthen die Dichtigkeit der Luft an der Erdoberfläche $d = \frac{h}{28\,Z.}$ als Einheit angenommen, das Verhältniſs des Wassers zur Luft aber $= 800 : 1$ und des Platin's zum Wasser $= 20 : 1$, die geographische Meile aber $= 3807$ Tois. gesetzt wird, also aus $\frac{10000}{3807} \log. 800$ und $\frac{10000}{3807} \log. 16000$ findet man nämlich, daſs die Luft in einer Tiefe von 7,6 Meil. schon

1 Transact. of the Soc. of Philadelphia. T. III. 1793.

2 G. LXII. 72.

dichter als das Wasser, in 11,1 Meil. aber schon dichter als selbst das Platin seyn müſste. Es läſst sich daher aus der geringen Dichtigkeit der Luft allerdings kein Einwurf gegen die Zulässigkeit dieser Hypothese hernehmen; allein im Ganzen ist dieselbe doch ganz unhaltbar. Um die Sache überhaupt vorstellbar zu machen, müſste man nämlich annehmen, daſs diese innere Luftkugel irgend einmal durch eine unbekannte und wahrhaft unbegreifliche Ursache in ihre feste Hülle eingeschlossen worden wäre, da die Voraussetzung, die Erde habe sich rund gestaltet, in ihrer Mitte aber eine Oeffnung gelassen, in welche die Luft nachher eingedrungen sey, doch keine eigentliche Widerlegung verdient. Den nämlichen Gesetzen der Schwere und des Druckes aber, denen die Luft der Voraussetzung nach unterliegen müſste, würden auch das Wasser und die sonstigen festen Substanzen unterworfen seyn, und die Säulen derselben von so ungeheurer Länge müſsten nothwendig die Luft aus ihrer Stelle treiben, so daſs die verschiedenen Stoffe sich statisch über einander lagerten, abgerechnet daſs die Luft, wenn sie dichter als das Wasser würde, unmöglich ihre expansibele Form beibehalten könnte. Halley's Hypothese endlich[1], wonach die äuſsere Erdrinde eine hohle Kugel bildet, in deren innerem Raume eine andere massive Kugel bewegt, der Zwischenraum aber durch dasjenige Licht erhellet wird, welches aus den Polen entweichend sich als Nordlicht zeigt, verdient bloſs des berühmten Erfinders wegen eine historische Erwähnung.

Aus diesen Untersuchungen ergiebt sich, daſs wir von der genauen Kenntniſs der eigentlichen Erdmasse noch weit entfernt sind, und selbst noch nicht einmal ein Mittel kennen, nähere Aufklärung über diesen Gegenstand zu erlangen.

B. Erdkruste.

Wenn man von der Beschaffenheit der Erdkruste und den Bestandtheilen redet, welche dieselbe bilden, so stöſst man sogleich auf eine höchst schwierige Aufgabe, nämlich die Tiefe, bis zu welcher man diese Kruste annehmen darf. Bei einem Halbmesser von 860 geographischen Meilen können die äuſseren Schichtungen bis zu 10 oder 100, ja selbst 300 Meilen noch zur äuſseren Rinde gezählt werden, und bei gänzlicher Unbe-

1 Phil. Trans. No. 195. p. 563.

stimmtheit dieser Gröfse läfst sich nichts Gewisses hierüber festsetzen. Wegen gänzlichen Mangels aller Kenntnifs des Erdkernes und der Bestandtheile unserer Erde in gröfseren Tiefen bleibt es daher am besten, alles dasjenige zur äufseren Rinde zu rechnen, wovon wir wenigstens einige Kenntnifs haben. Der tiefste Punct, bis wohin diese reicht, sind die Herde der Vulcane, deren genaue Tiefe uns zwar unbekannt ist; indefs ergeben die auf gewichtige Wahrscheinlichkeitsgründe gebaueten Schlüsse doch zur Genüge, dafs sie bis einige Meilen tief unter der Erdoberfläche liegen[1]. Die Substanzen, welche aus diesen zur Oberfläche der Erde gelangen, die Laven und sonstigen vulcanischen Producte, weichen zwar in ihren Bestandtheilen, wenigstens die letzteren, zuweilen von einander ab, im Ganzen aber zeigen sie eine so genaue Uebereinstimmung, dafs wir hiernach aus den zu ihrer Bildung erforderlichen Stoffen auf die Beschaffenheit der Erdkruste in diesen Tiefen zu schliefsen berechtigt sind[2].

Aufser diesen wenigen Spuren, welche zu einer Kenntnifs der Bestandtheile der Erdkruste führen, sind uns nur diejenigen Substanzen genauer, und durch die neuesten fleifsigen Forschungen der Geognosten genau bekannt, welche höher liegen, als die durch den Spiegel des Meeres gegebene feste Grenze. Verschiedene Schachte der Bergwerke gehen nämlich zu einer bedeutenden Tiefe herab, z. B. zu *Kitzpühl* in Tyrol bis 1000 Meters, ohne jedoch die Meeresfläche zu erreichen, unter dieselbe aber gelangt man nur selten, z. B. in den Kohlenminen zu *Whitehaven* im Cumberland, und D'AUBUISSON[3] glaubt in der Tiefe von 300 Meters unter dem Meeresspiegel, bis zu welcher er in den Minen von *Anzin* bei *Valenciennes* gelangte, die gröfste Tiefe, bis zu welcher man kommen kann, erreicht zu haben. Gröfsere Tiefen sind den Menschen unzugänglich wegen des starken Andranges des Wassers, welches sich überall im Niveau des Meeres findet, wenn es nicht in seltenen Aus-

1 S. *Vulcane*.

2 Dieser Gegenstand kann erst im Artikel *Vulcane* zur näheren Untersuchung kommen. Die Basalte werden hier vorläufig zu den vulcanischen Producten gezählt, wozu überwiegende Gründe vorhanden sind.

3 Traité de Géog. I. 378.



nahmen durch eine feste Thonschicht oder dicht gefügte Felsmassen am Zudringen gehindert wird. Es läſst sich daher auch nicht mit Gewiſsheit ausmitteln, ob die äuſsere Erdrinde überall aus einer gleichmäſsigen Reihenfolge von Schichtungen derselben oder ähnlicher Art besteht, welche dann an den höheren Orten als höher gehoben, an den tieferen niedriger liegend anzusehen wären, und eben weil wir an den letzteren Orten die Lagerungen zu verfolgen nicht vermögen, kann die Frage nicht beantwortet werden. Ihre Annahme würde voraussetzen, daſs in gehöriger Tiefe überall Granit, oder wahrscheinlicher Gneis, als die am tiefsten liegende Gebirgsart, gefunden werden müſste, mithin daſs diese auch das eigentliche, mit verschiedenen andern Gebirgsarten überzogene Becken des Meeres ausmachte. Als Thatsache können wir es indeſs annehmen, daſs an den verschiedenen Orten sowohl an Zahl als auch an Mächtigkeit verschiedene Schichtungen von Gebirgsarten über einander gelagert sind, welche von dem lockeren Sande, der Dammerde und überhaupt von den leichteren zu den schwereren, dichteren und vollkommener krystallinischen mit der Tiefe zunehmen, und mit Granit oder einer verwandten Gebirgsart endigen, wenn die letztere anders erreichbar ist. Oft fehlen indeſs mehr oder weniger, nicht selten alle andere Steinarten, und der Granit bildet unmittelbar die oberste Lage. Der Basalt und verwandte, für vulcanisch gehaltene Felsarten machen eine Ausnahme, und verdienen eine besondere Untersuchung.

Die äuſsere Gestalt der Erdoberfläche steht in keinem bestimmten Verhältnisse zu der Art und Reihenfolge der Lagerungen der Gebirgsarten, obgleich geübte Geognosten die oben aufliegenden, namentlich die Gebirge bildenden Felsarten aus der ersteren zu erkennen vermögen[1]. Zuweilen liegen die einzelnen Erd- und Steinlagen in parallelen Schichten über einander, wie dieses namentlich in einer Gegend bei Paris der Fall
Fig. 182. ist, und aus der Zeichnung erkannt werden kann. Als merkwürdiger Umstand verdient hierbei noch angeführt zu werden, daſs in den einzelnen wechselnden Schichten bald Ueberbleibsel aus süſsem Wasser, bald versteinerte Seethiere vorkommen, woraus man nothwendig schlieſsen muſs, daſs diese Gegenden

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. Heid. 1823 u. 24. III Vol. 8. I. 35.

zu verschiedenen Malen mit Seewasser bedeckt waren, ohne daſs noch bis jetzt eine geologische Hypothese diese Erscheinung zu erklären vermochte [1]. Aehnliche wechselnde Formationen fand unter andern WEBSTER unweit London und im südlichen Theile von England [2]. In sehr vielen andern Fällen, vorzüglich bei flacher liegenden Bergen und Thälern bilden die einzelnen Schichtungen muldenförmige Vertiefungen und gewölbte Erhebungeu, wobei die einzelnen Lagerungen in sofern nicht genau parallel laufen, als sie an Mächtigkeit bald zu, bald abnehmen und ganz verschwinden. Die Zeichnung versinnlicht diese häufig vorkommende Erscheinung durch die Darstellung des verticalen Durchschnittes der Gegend zwischen Meziéres und Gueret. Uebrigens zeigt sich diese Erscheinung bei allen bekannten Felsarten mit der Beschränkung, daſs die Urgebirgsarten zwar gleichfalls solche Wölbungen darbieten, jedoch nicht bis auf ihre Unterlage verfolgt werden können, wie die jüngeren Felsarten. Der Anblick solcher Erhebungen hat auf die Idee geführt, daſs die Gebirge durch vulcanische Kräfte von unten herauf gehoben seyn mögten, welcher Hypothese man beipflichten muſs, wenn man nicht annehmen will, daſs der Erdkörper ursprünglich eine unebene Oberfläche hatte, über welche die späteren Schichtungen sich lagerten, und zwar insbesondere diejenigen, welche aus der Zersetzung nnd Zertrümmerung der ältesten Gebirgsarten gebildet sind. Am häufigsten ist es, hauptsächlich bei älteren Felsarten der Fall, daſs die Schichtungen einen gewissen Winkel mit dem Horizonte bilden. Man nennt dieses das *Fallen* derselben, und findet hierbei durch weite Strecken einen wunderbar gleichförmigen Parallelismus der einzelnen Schichtungen, wovon die Durchschnittszeichnung der Gegend zwischen *Snowdon* und *London* ein instructives Beispiel liefert. Daſs übrigens dieses Fallen überall auf der Erde gleich, oder gar aus einer Veränderung der Erdaxe erklärlich seyn sollte, widerstreitet nicht bloſs der Erfahrung, sondern Letzteres auch den Gesetzen der Gravitation. Auſser dem Fallen kommt bei den Felsarten insbesondere noch ihr *Streichen* in Betrachtung, worunter man die Längenerstreckung nach einer gewissen Weltgegend, oder den Win-

Fig. 183.

Fig. 184.

1 CUVIER et BROGNIARD essay sur la géographie minérale des Environs de Paris. cet. Par. 1811. 8. Vergl. G. XLV. 229.

2 Trans. of the Geol. Soc. Lond. 1814. Vol. II.

kel versteht, welchen dieselben mit dem Meridiane bilden. Man mifst denselben gewöhnlich mit dem bergmännischen Compafs, welcher den Horizont in 2mal 12 Stunden theilt und im magnetischen Meridiane mit der Nordspitze in 0 hor. oder 12 hor. anfängt. Vorzugsweise hat sich v. HUMBOLDT mit der Untersuchung der Richtungslinie des Streichens der Felsarten beschäftigt, weil seine früheren Untersuchungen hauptsächlich in Deutschland und Italien ihn zu der Hypothese führten, jene Richtungslinie sey überall dieselbe, und laufe in hor. 3 bis 4. Spätere ausgebreitete Erfahrungen, hauptsächlich im neuen Continente, haben ihn jedoch zu der Ueberzeugung gebracht, dafs in keiner Erdhälfte eine allgemeine und unbedingte Gleichförmigkeit des Streichens herrscht, dafs aber allerdings in ausgedehnten Strecken von einigen Tausend Quadratmeilen ungeachtet vieler Unterbrechungen der nämliche Typus hervortritt[1].

Unter die allgemeinen Bezeichnungen der Felsarten gehört endlich noch ihre Structur[2]. In dieser Hinsicht unterscheidet man zuerst die *Stratificirungen*, welche die sogenannten stratificirten Gebirge bilden. Sie bestehen aus einzelnen, nahe parallelen Schichtungen, die ehemals sogenannten *strata super strata*, bei welchen vor allen Dingen das erwähnte Streichen und Fallen in Betrachtung kommt, nebst ihrer Stärke (Mächtigkeit) und den Veränderungen, welche diese zeigen. Hierzu gehören vorzüglich die secundären Gebirgsarten, als Kalk, Sandstein, Schieferthon, Steinkohlen u. s. w. und von den älteren Gebirgsarten der Gneis, Glimmerschiefer, Thonschiefer u. s. w. Eine zweite Art der Structur ist die prismatische, indem manche Felsarten als rectanguläre Massen, rhomboidale Platten und Säulen von verschiedenen Grundflächen erscheinen. Hierhin gehören vorzüglich die Basalte, Trachyte, manche Sandsteine u. s. w. Endlich ist die Structur sphäroidisch vom irregulär abgerundeten Körper bis zum vollkommenern Sphäroid, wie bei Dioriten, Basalten u. s. w.

Wenn man bei der Untersuchung der Bestandtheile der Erdkruste von einer systematischen Anordnung und genauen Be-

1 Geognostischer Versuch über die Lagerung der Gebirgsarten in beiden Erdhälften. Von A. v. Humboldt. Deutsch durch v. Leonhard. Strafsb. 1823. 8. S. 60. Vergl. Voy. X. 242.

2 S. D'Aubuisson Traité de Géognosie. I. 319.

chreibung der verschiedenen Felsarten abstrahirt[1], und dieselen nur aus dem Standpuncte des Physikers betrachtet, um eine llgemeine Uebersicht der Beschaffenheit unseres Erdballes zu eben, zugleich auch die Bildung und allmälige Veränderung er Erde dabei berücksichtigt, so wird folgende Darstellung für iesen Zweck genügen[2]. Man unterscheidet nämlich

1. *Urgebirgsarten*, oder solche Gebilde, welche unleich früher als andere entstanden zu seyn scheinen, und sich m Allgemeinen durch das Starre, Unbelebte und gleichsam Rohe hrer Massen unterscheiden, im Ganzen auch am tiefsten gelaert sind, und in vielen Gegenden die höchsten Hervorragungen md zackigsten Bergspitzen bilden. Zu ihnen gehört

a. Der *Granit*, eine aus krystallisirtem Feldspath, Quarz und Glimmer gemengte Gebirgsart von körnig-krystallinischem Gefüge, mit vielen stellvertretenden oder beigemengten Theilen. Er erscheint meistens in unförmlichen rohen Massen, zackigen Felsenspitzen, Säulen und durch Zerklüftungen entstandenen mächtigen Lagen und Bänken. Nur selten und nicht eben weit verbreitet zeigen sich Schichtungen desselben. Die ältere Meinung, daſs der Granit ganz allgemein die unterste Gebirgsart sey, ist durch neuere Untersuchungen nicht bestätigt, indem man ihn vielmehr zuweilen auch über Gneis, Glimmerschiefer, Porphyr, Thonschiefer gelagert, mit denselben wechselnd und von ihnen, wie auch von einigen andern Gesteinen durchzogen findet[3]. Er verwittert sehr ungleich, mancher schwer, anderer

---

1 Ich kann dieses hier um so mehr übergehen, als dieser Gegenstand neuerdings in einem classischen Werke: Charakteristik der Felsarten von K. C. v. Leonhard. Heid. 1823. III. Vol. 8. vollständig bearbeitet ist. Ein Auszug daraus würde immer nur mangelhaft, und doch hier zu weitläufig seyn.

2 Dabei folge ich hauptsächlich dem eben angezeigten Werke, desgleichen den früher angegebenen von v. Humboldt und von d'Aubuisson. Die Classification selbst ist entlehnt aus Voyage au Régions équinoxiales du nouveau Continent par A. de Humboldt et A. Bonpland. Tome X. Par. 1825. 8. p. 252.

3 Eine auffallende Lagerung der Gebirgsarten über einander zeigt sich nach L. v. Buch bei Christiania in Norwegen, wo sie von oben herab folgende ist: Zirkonsyenit, Granit, Porphyr, Sandstein, Kieselschiefer, dichter grauwackenähnlicher Thonschiefer, Thonschiefer und schwarzer Orthoceratiten-Kalkstein und endlich Granit. S. dessen Reisen I. 141. Gänge von Granit im Urthonschiefer findet man

sehr leicht, bildet zuerst einen grobkörnigen Grus und dann fruchtbares Erdreich.

Der *Topasfels*, aus Topas, Quarz und Turmalin von körnig-schiefrigem Gefüge gemengt, ist nur als eine Abart des Granites zu betrachten.

Sehr viele Aufmerksamkeit haben von jeher die sehr zahlreichen Granitblöcke[1] erregt, welche sich in allen Welttheilen weit von granitischen Bergen und an solchen Orten finden, dafs man nicht leicht begreift, wie sie an ihre gegenwärtige Lagerstätte gekommen sind. Sehr viele derselben findet man in den niedersächsischen Ebenen und überhaupt an der Küste des Baltischen Meeres bis nach Twer hin, auch gehört dazu der ungeheure Block, welcher im Finnischen Meerbusen gefunden zur Grundlage der Statüe Peters des Grofsen in Petersburg benutzt wurde. Sie sollen nach Hausmann und L. v. Buch ihrer Beschaffenheit nach den skandinavischen Graniten angehören[2]. In grofser Menge finden sie sich ferner am Jura und überhaupt in der Schweiz, liegen stets isolirt und nie in Puddingstein eingeschlossen, aber oft mit Dammerde bedeckt, von jeder Gröfse bis zu 50000 Cub. F. ohne dafs ein Verhältnifs zwischen ihrer Gröfse und der Höhe des Fundortes statt findet. Solche Geschiebe bestehen an vielen Orten nicht blofs aus Granit, sondern auch aus Gneis, Syenit, selbst aus secundären Gebirgsarten, liegen bis 4000 F. über der Meeresfläche, und sollen den hohen Bergspitzen in ihrer Nähe ähnlich seyn[3]. Nach L. v. Buch findet sich ein Block auf dem Berge Pierre-à-Bot bei Neufchatel, 800 F. über dem See, welcher 40 F. hoch, 50 F. lang und 20 F. breit ist, also doppelt so grofs als der im Finnischen Meerbusen gefundene[4]. Man findet sie ferner zahlreich in Frankreich, in China, in America[5]. Der gröfste bekannte Block ist der soge-

---

auf der schottischen Insel Arran. S. Necker de Saussüre Voy. en Écosse. II. 49.

1 Da die Untersuchung über diese räthselhaften Geschiebe auf eine unmittelbare Anwendung physikalischer und mechanischer Gesetze führt, so glaube ich sie nicht übergehen zu dürfen.

2 D'Aubuisson Traité de Géog. I. 232.

3 Escher in Neue Alpina I, 1.

4 Mém. de Berlin. 1817. Vergl. de la Metherie Théorie de la Terre Par. 1795. V Vol. 8. II. 223.

5 Untersuchungen über den Ursprung und die Ausbildung der

nannte Pearl-Diamond, 30 engl. Meilen vom Vorgebirge der guten Hoffnung, welcher 0,5 engl. Meilen im Umfange und 400 F. Höhe hat[1].

Ueber die Art, wie sie an den Ort ihrer jetzigen Lagerstätte gekommen sind, hat man verschiedene Hypothesen aufgestellt. Nach dem älteren DE LÜC[2] sollen sie durch gewaltsame Explosionen aus dem Innern der Erde, nach L. v. BUCH[3] durch Wurfkräfte von den vorhandenen Granitbergen (also die an der Küste des Baltischen Meeres von Skandinaviens Küsten) fortgeschleudert und umhergestreuet seyn. Aehnlich ist die Meinung J. A. DE LÜC's d. J., wonach sie an dem Orte ihrer jetzigen Lagerung durch Explosionen der Dämpfe als Bruchstücke der Erdrinde emporgeschleudert seyn sollen[4]. Allein nach den Gesetzen der Ballistik ist bei dem Widerstande der Luft eine solche Wurfkraft unmöglich. Nach v. SAUSSÜRE[5], WREDE[6], VENTURI[7] u. a. sind sie durch Hülfe des erleichternden Eises und der Holzmassen vermittelst der Gewalt der Gewässer an ihre jetzige Lagerstätte gekommen, welcher Meinung im Ganzen auch ESCHER[8] rücksichtlich der Blöcke auf dem Jura huldigt, indem er noch ferner aus dem Verhältnisse ihrer Lagerungen zu der Richtung der Thäler darzuthun sucht, wie sie durch die gewaltsamen Strömungen seitwärts geworfen seyn sollen. Dafs Wasserfluthen wo nicht stets, doch oft, beim Transporte dieser Blöcke behülflich waren, ist höchst wahrscheinlich, ob sie aber alle durch solche Strömungen von noch bekannten gleichartigen Gebirgen herabgeführt sind, wie ESCHER annimmt, dagegen entscheidet sehr die weite Entfernung ihrer

---

gegenwärtigen Anordnung des Weltgebäudes v. C. W. und E. F. L. MARSCHALL v. BIEBERSTEIN. Darmst. 1802. S. 81.

1 Phil. Trans. 1778. p. 102.

2 Lettres CXIII.

3 Mém. de Berlin 1817. Ann. Chim. et Ph. VII. 17. X. 241.

4 Ann. Chim. et Phys. VIII. 134. Vergl. Naturwissenschaftl. Anzeiger der Schweizergesellschaft. I. 8. G. LXI. 373.

5 Voy. §. 208—212.

6 Geologische Resultate aus Beobachtungen über einen Theil der südbaltischen Länder. Halle 1794. 8. S. 44 ff.

7 Memor. intorno ad alcuni fen. geol. Pavia 1817.

8 a. a. O. Vergl. Bibl. univ. XXI. 259. G. LXV. 113. HALL in Edinb. Phil. Tr. 1813.

jetzigen Lagerstätte, und das Zwischenliegen von Thälern und bedeutend hohen Bergen. Dolomieu nimmt daher an, die zwischenliegenden Thäler seyen früher ausgefüllt gewesen, so dafs sie auf der geneigten Ebene herabgleiten konnten. Nach den neuesten Ansichten der meisten Geognosten sind sie auf dem Eise schwimmend von fernen, hauptsächlich nördlichen, Gegenden an ihre jetzigen Fundorte gelangt, welche Hypothese dadurch unterstützt wird, dafs man grofse Massen dieser Art auf dem Treibeise der Polarmeere wirklich herumtreibend gesehen hat. Das letztere Factum ist zwar gewifs, allein die Hypothese erklärt nicht einmal den Transport der Blöcke an den Küsten des Baltischen Meeres. War nämlich der Spiegel des Meeres zur Zeit, als jene Steine bewegt wurden, nicht höher als jetzt, so ist die Sache unmöglich; war er aber höher, so konnte im offenen Meere das Polar- oder nördliche Treibeis nicht bis dorthin gelangen, indem zwar die Ostsee in seltenen Fällen gefriert, aber blofs als eingeschlossenes Meer. Denken wir uns dasselbe mit dem atlantischen Meere durch höheren Stand vereinigt, so konnte es eben so wenig gefrieren, als dieses, und das Treibeis, noch dazu in solchen Massen, als zum Transporte dieser Blöcke erforderlich seyn würden, gelangt bekanntlich nicht einmal bis zu den Schottländischen Inseln, viel weniger also bis nach Hannover, Potsdam, Wittenberg u. s. w. Dafs aber diese Hypothese nicht ausreiche, um das Vorkommen derselben auf dem Jura, in Frankreich, China oder gar in der Nähe des Vorgebirges der guten Hoffnung zu erklären, fällt ohne Weiteres von selbst in die Augen. Mir scheint daher noch immer d'Aubuisson's[1] Ansicht die genügendste zu seyn, wonach sie Bruchstücke zerstörter Granitberge in gröfserer oder geringerer Entfernung von ihrer gegenwärtigen Lagerstätte sind, welche, selbst verwittert, diese Ueberbleibsel zurückgelassen haben. Dafs sie bei einem früheren Wasserstande oder auch durch andere Fluthen, von deren Wirksamkeit noch sonstige mehrfache Spuren vorhanden sind, fortgestofsen, in manchen Fällen ganz eigentlich fortgeschwemmt seyn mögen, dafs sie

---

1 a. a. O. Vergl. Schweigg. J. XXV. 16. Hiermit im Einklange steht die eigenthümliche Lage der bekannten Granitblöcke in Cornwallis, und Mac-Cullochs Erklärung der Art, wie sie an ihren jetzigen Ort gekommen sind. S. Brewster's Journ. V. 46.

ferner mitunter durch Hülfe des anhaltenden Eises fortgeschoben, zuweilen selbst vom Wasser fortgetragen wurden, endlich durch den Andrang und Stoſs der Wasserwellen, wie noch jetzt die groſsen Granitfelsen an den skandinavischen und brittischen Küsten, gehoben, auch wohl fortgestoſsen, mit Sande unterlagert und oft über denselben hingerollt wurden, wodurch zuletzt die Spuren ihres Ursprunges gänzlich verloren gingen, wird durch diese Hypothese keineswegs ausgeschlossen. Auf allen Fall fällt die Zeit, in welcher sie ihre jetzigen Plätze erhielten, bei den meisten so hoch hinauf, daſs es schwer ist, den damaligen Zustand der Erdrinde noch jetzt mit völliger Gewiſsheit anzugeben. Daneben liegt mindestens ein Theil des Grundes ihrer Aehnlichkeit unter einander in dem Umstande, daſs nur diejenigen Arten auf diese Weise erhalten wurden, welche am schwersten verwittern.

Hornfels, ein Gemenge aus splittrigem Quarz, Feldstein und wenigem Turmalin, findet sich auf Granit gelagert.

Dem Granite kann der Quarzfels angereihet werden. *Quarzfels*, *Quarzgestein*, besteht aus reinem oder mit Glimmerblättchen untermengtem Quarze, und findet sich unmittelbar auf Granit gelagert, oder auch im Gneis, Glimmerschiefer und Thonschiefer. Zu ihm gehört der *Itakolumit*[1] oder *Gelenkquarz*, auch *biegsamer Sandstein* genannt, welcher in groſsen Massen in Brasilien vorkommt, und aus Quarz und Talk oder Chloritschiefer nach Art des Glimmerschiefers gemengt ist, seine Biegsamkeit aber dadurch erhält, daſs die Theile des letzteren die ersteren gelenkartig umschlieſsen. Der *Eisenglimmerschiefer*, ein Gemenge aus Eisenglimmer und Quarz, von körnig-schiefrigem Gefüge, kommt nur in Brasilien vor, und steht ohngefähr auf gleicher Altersstufe als der Itakolumit.

b. *Gneis* (Gneus) besteht aus Feldspath und Glimmer oder aus Feldspath, Quarz und Glimmer, welche in körnig schiefrigem Gefüge verbunden sind. Meistens besteht derselbe aus Lagen von Glimmer mit solchen von Quarz und Feldspath wechselnd, mit verschiedenen Abänderungen rücksichtlich des Quan-

---

1 Ein indisches Wort vom Berge Itakolumi, welcher daraus besteht. Dieser Berg, dessen Name von Ita der Stein und Kolumi der Sohn gebildet ist, weil derselbe einen kleineren Theil des höchsten steilen Gebirges ausmacht, liegt bei Villa Ricca in Brasilien.

titativen dieser Bestandtheile; jedoch ist der Glimmer in ihm meistens in gröſserer Menge vorhanden, als im Granite. Er zeigt im Allgemeinen regelrechte Schichtungen, wie sie seiner schiefrigen Textur zukommen, bildet weniger zackige und hohe Gebirge als der Granit, und kommt häufig mit dem letzteren vereinigt vor.

c. *Glimmerschiefer*, aus Quarz und Glimmer zusammengesetzt, von sehr kenntlich schiefrigem Gefüge. Er ist ausgezeichnet geschichtet, und enthält unter allen Urgesteinen die meisten fremdartigen Lager, liegt aber selbst meistens auf Gneis, seltener auf Granit, und wechselt selbst mit Thonschiefer. Sein Vorkommen ist sehr häufig, und er bildet meistens die hohen wellenförmigen Bergebenen, welche die steilen Granitgebirge verbinden.

Anhangsweise lassen sich hier anreihen der *Chloritschiefer* und der *Talkschiefer*. Der erstere besteht aus bloſsem Chlorit mit zufällig beigemengten Theilen, von lauch- berg- oder schwärzlich-grüner Farbe und schiefrigem Gefüge. Er kommt nur selten als selbstständige Gebirgsart vor, und findet sich als Lager auf Granit, hauptsächlich im Glimmerschiefer, auch im Gneis und Thonschiefer. Der *Talkschiefer* oder *schiefriger Talk*, von weiſser, grüner und ins Röthliche übergehender Farbe, gehört theils zu den Urgebirgen, theils zu den Uebergangsformationen, und bildet sowohl ganze Berge als auch nur einzelne Lager. Auch der *Eklogit* oder *Smaragditfels*, aus Diallagon und Granat, von krystallinisch-körnigem Gefüge, findet sich theils im Gneis, theils im Glimmerschiefer gelagert.

Den Glimmerschiefer-Gebilden läſst sich ferner der *Dolomit* anreihen. Er besteht aus kohlensaurem Kalke mit kohlensaurem Talke, ist weiſs, von körnigem Gefüge, brauset schwach mit Säuren, und um so weniger, je gröſser der Gehalt an Talk ist[1].

---

1 Der Dolomit hat seinen Namen von Dolomieu, welcher diese Felsart vorzüglich untersuchte. Er gehört ungleichen Altersstufen an. Insbesondere der neuere ist mit vielen drusenartigen Räumen erfüllt, frei von fremdartigen Beimengungen und überhaupt leer von Versteinerungen. Der Dolomit verwittert leicht, und Schichtungen desselben kommen nur beim älteren vor. Letzterer ist nur stellenweise, der neuere ungleich häufiger verbreitet, und gehört zu den Kalken der Flözzeit.

d. *Urthonschiefer*, wozu nur ein sehr geringer Theil des Thonschiefers überhaupt gehört, erscheint fast als gleichartiges Gestein wegen der Feinheit und innigen Mengung seiner Bestandtheile, nämlich Glimmer, Quarz, Feldspath und Talk. Seine Textur ist ausgezeichnet schieferig, und er verwittert durch Zerspaltung in die feinsten Blättchen. Bloſs da, wo er den ältesten Urfelsen näher liegt, zeigen sich noch Spuren einer Krystallisation des Glimmers; dort ist er dann auch ganz frei von Versteinerungen, welche indeſs auch in dem jüngeren nur als einzelne Exemplare vorkommen. Aus ihm sind groſse Bergebenen und rundliche Bergkuppen gebildet, nie hohe zackige Felsen.

e. *Granulit*, eine dem Granite verwandte körnige, weiſse Felsart, hat als Hauptbestandtheil Feldstein oder dichten Feldspath, und heiſst von seiner Farbe auch *Weiſsstein* nach Werner oder *Euril* bei den Franzosen. Im Ganzen ist er wohl nur eine Abart des Granites.

f. *Serpentin* galt bis jetzt meistens für ein sehr inniges Gemenge aus sogenanntem Diallagon und Feldstein, und unterscheidet sich daher vom *Gabbro* nur durch sein höchst feines Korn.

g. *Hornblendeschiefer* besteht aus krystallinischer Hornblende, ist von schwarzer, ins Grünliche spielender Farbe, und deutlich geschichtet, bildet selten selbstständige Gebirge, mehr aber mächtige Lager im Gneis und Glimmerschiefer. Das *Hornblendegestein*, aus bloſser Hornblende bestehend, mit verschiedenen fremdartigen Einmengungen, schwarz ins Grünliche spielend, ist ihm verwandt, und findet sich im Gneis und Glimmerschiefer gelagert.

h. *Grünstein*, auch *Diorit* und *Urtrapp* genannt, kommt nur in kleinen Lagen als Urgebirge vor.

2. *Uebergangsgebirgsarten*, oder solche, welche zwischen den Urgebirgen und den Felsarten der secundären Bildung in der Mitte liegen. Im Ganzen zeigen diese viele Aehnlichkeit mit den Urfelsen. Sie sind im Allgemeinen aus Trümmern und fremdartigen, durch Zerstörung der Urfelsen erst dargebotenen Bestandtheilen zusammengesetzt, und müssen daher später als diese gebildet seyn. So wie aber bei den Urgebirgen keine feste Grenze aufzufinden ist, wonach man genau die Reihenfolge ihrer Bildung bestimmen könnte, so zeigt auch die Untersuchung der Uebergangsfelsarten, daſs den einzelnen Species ein verschiedenes Alter zugehört, indem einige sich mehr

den Urfelsen, andere den secundären Gebilden nähern. Zu ihrer Classificirung berechtigt aber hauptsächlich das Lagerungsverhältniſs, indem sie sämmtlich über den Urgebirgsarten und unter den secundären Felsarten gelagert sind. Neuerdings hat v. HUMBOLDT über diese und ihre Lagerungsverhältnisse, wie sie durch ihn selbst und andere geübte Geognosten in America, Asien und Europa aufgefunden sind, lehrreiche Bemerkungen mitgetheilt[1]. Es werden hierhin gerechnet:

a. *Grauwacke*, eine sandsteinartige Felsmasse, besteht aus gröſseren und kleineren, bis zu den kleinsten, Stücken von Quarz, Thonschiefer, Glimmerschiefer, Feldsteinporphyr, Granit und Kalkstein, welche in einer Thonschiefermasse zusammengebacken sind, von grobkörnigem bis zum feinkörnigsten Gefüge, meistens grau, zuweilen röthlich braun, fest und hart, nicht schieferig und selten porös. Versteinerungen finden sich selten und nur in einzelnen Exemplaren in ihr, dagegen ist sie reich an Gängen und unter diesen auch erzführenden, und es ergiebt sich leicht aus ihrem Gesammtcharakter, daſs sie durch Vereinigung zerstörter älterer Felsmassen gebildet ist.

b. Neben *kalkhaltigem Schiefer* gehört der *Grünstein* zur Uebergangsformation. Er wird auch *Diorit* (von *διορίζω*, distinguo, definio, weil seine Bestandtheile sich an Farbe und Gefüge so verschieden zeigen) genannt, ist theils grob- theils feinkörnig, bietet selten kenntliche Schichtungen dar, erscheint wie der Granit in zerklüfteten, oft stark abgerundeten Massen, kommt häufig vor und bildet kleinere meistens abgerundete Berge. Zu ihm gehört der *Dioritschiefer*, welcher in mächtigen Lagern seltener auf Granit, häufig auf Gneis vorkommt.

Zu den Uebergangsgebirgen gehören ferner noch folgende verbundene und mit einander parallel laufende Formationen.

c. Wechselnde Schichten von *körnigem* und *talkigem Kalke*. Der körnige Kalk, sonst auch *Urkalk*, *salinischer Marmor* genannt, unterscheidet sich von den zahlreichen Kalkgebilden durch sein krystallinisches Gefüge, welches bald grob- bald feinkörnig erscheint, und nur selten schiefrig, wenn er mit Glimmerblättchen gemengt ist. Daſs er keine Petrefacten

1 Geognostischer Versuch über die Lagerung der Gebirgsarten in beiden Erdhälften. Deutsch durch v. Leonhard. S. 103. ff.

enthält, die in den neueren Kalksteinen so häufig vorkommen, aufserdem im Granit und andern primitiven Felsarten gelagert vorkommt, entscheidet für sein hohes Alter. Neben *Kohlenblende - haltigem Glimmerschiefer* und *Grauwacke* gehört hierzu ferner nach der *Anhydrit*. Man rechnet ferner auch den körnigen, schuppigen, ins Blättrige übergehenden, *Gyps* zum Urgypse und zum Uebergangsgypse. Ob es den ersteren giebt, ist zweifelhaft, und v. Humboldt führt ihn nicht als solchen auf. Der ältere Gyps ist mitunter deutlich geschichtet, und führt verschiedenartige Beimengungen, findet sich in und auf Kalk und Thonschiefer, zwischen Grauwacke oder auf Feldsteinporphyr.

d. *Thonschiefer* gehört der Uebergangsperiode gleichfalls an, nebst dem *Kieselschiefer* (*Jaspisschiefer*, *Lydischer Stein*), welcher aus Kieselmasse mit mehr oder weniger Thon - Kohlenstoff - oder Eisenoxyd - Gehalt besteht, hiernach verschieden gefärbt, meistens aber schwarz ist, in Thonschiefer übergeht und sich in ihm gelagert findet; ferner *schwarzer Kalkstein*, oder *Uebergangskalk*, eine reine dichte Kalkmasse, selten körnig, von bläulicher und schwärzlicher Farbe mit weifsen Adern durchzogen, selten roth oder gelblich. Er findet sich zuweilen in grofsen Lagern ganz frei von Petrefacten, zuweilen aber enthält er sie in grofser Menge, ist selten geschichtet und der Verwitterung sehr ausgesetzt, kommt sehr häufig vor, und bildet sowohl Bergkuppen, als hohe und spitze Felsen. Ferner gehört dazu *Grauwacke* nebst *Grünstein* und *Syenit*. Letzterer ist benannt von *Syene*, dem heutigen *Essen* oder *Assuan* in Oberägypten, woher die zu den Obelisken genommenen Steine kamen. Er wird wohl mit Granit verwechselt und den Urfelsen beigezählt. Die wesentlichen Bestandtheile desselben sind Feldspath und Hornblende, welche ein grob - oder feinkörniges Gemenge bilden, von schwärzlichem Ansehen und verschiedene Einmengungen enthaltend. Die Felsart ist selten geschichtet, meistens neben Granit, nicht häufig über demselben gelagert, ragt auch nicht so weit über die Oberfläche des Meeres als dieser. Dem Syenit nahe verwandt ist der *Aphanit* (von *ἀφανίζειν* verschwinden, weil die Kenntlichkeit der Gemengtheile aufhört), welcher aus Feldstein und Hornblende besteht, mit eingemengten Feldspath - und Hornblende - Krystallen, von Farbe dunkelgrün ins schwärzliche ist, sich vorzüglich über Sye-

nit und Diorit gelagert findet, und meistens steile, fast senkrechte Klippen bildet.

Der *Uebergangsgranit* gehört gleichfalls hierher. Man war anfangs gewohnt, den Granit allgemein als älteste Felsart zu betrachten, allein es ist zuerst durch Leop. v. Buch[1] und Hausmann[2] außer Zweifel gesetzt, daß der Granit auch über andern Gesteinen gelagert vorkommt. Sie fanden ihn namentlich bei Christiania über Orthoceralitenkalke liegend, nachher hat ihn auch v. Humboldt[3] über Gneis, John Davy[4] über Schiefer und Vargas Bedemar[5] mit Eisensteinschichten wechselnd gefunden. Es muſs hiernach also Granit von verschiedenem Alter geben, und es leidet keinen Zweifel, daſs einiger auch zur Uebergangsformation gehöre[6].

Porphyr, welchen manche Geognosten, zum Theil wenigstens, den Urfelsen beizählen, wird durch v. Humboldt gleichfalls zu den Uebergangsgebilden gerechnet. Er besteht aus Feldstein oder dichtem Feldspath als Hauptmasse, in welche, wie in einen Teig, Quarz-Krystalle und Körner, Feldspath-Krystalle, zufällig auch Hornblende- und Glimmer-Theile, gleichsam eingebacken sind. von Humboldt fand ihn in America unmittelbar auf Granit liegend. Verwandt ist ihm der *Pyromerid* von Corsica, welcher aus einem Teige von Feldstein mit wenigen quarzigen Einmengungen und eingeschlossenen Kugeln aus Feldspath oder aus Feldstein und Quarz besteht.

e. *Gabbro* (*Euphotide*, *Verde di Corsica*), aus Feldstein und sogenanntem Diallagon, oder aus Feldstein, Feldspath und Diallagon gebildet, von körnigem Gefüge, steht vorzüglich dem Serpentin nahe, und geht häufig in diesen über. Nach seinen Lagerungsverhältnissen findet er sich an der Grenze der Ur- und Uebergangsgebirge, so wie der letzteren und der Flötzgebirge, bildet steile Berge und findet sich in allen Welttheilen.

f. Endlich rechnet v. Humboldt hierher die Lagerungen

---

1 Reise durch Norwegen und Lappland. I. 141.

2 Reise durch Scandinavien. a. v. O.

3 Reisen d. Ueb. III. 196.

4 G. LXVI. 129.

5 Reisen. II. 246.

6 S. d'Aubuisson Traité de Géognosie. II. 226. wo noch mehrere Beispiele angeführt werden.

von *Pyroxen-Porphyr* mit gewissen *Mandelsteinen* und *Zirkonsyenit*.

3. *Secundäre Formationen* nennt man solche, deren Entstehen in Zeiten fällt, als die älteren Schichten schon gelagert waren, und sowohl zur Erzeugung von Pflanzen als auch zum Wohnorte von Thieren dienten. Im Allgemeinen bilden sie zwei Hauptclassen, nämlich Sand- und Kalk-Steine, welche indeſs von verschiedenem Alter sind, und auch hierbei ist die Begrenzung nicht so scharf, daſs sich die secundäre Felsart überall genau von den Uebergangsgebilden unterscheiden lieſse, oder man ihr Alter mit völliger Gewiſsheit bestimmt angeben könnte. Die verschiedenen Sandsteinarten scheinen übrigens aus den abgerundeten Bruchstücken, insbesondere den quarzigen, der Urgebirge entstanden zu seyn, welche an ihrer gegenwärtigen Lagerstätte aufgehäuft zu den jetzigen Steinmassen verbunden wurden. Die Kalksteingebilde sind in ungeheurer Menge vorhanden, und werden nach der Verschiedenheit ihres Alters zuweilen durch Zwischenlagen von Gyps, Thon, Sandstein u. s. w. getrennt; oft läſst sich ihr Alter hiernach, hauptsächlich aber nach den Resten der Thierwelt bestimmen, welche sie einschlieſsen.

a. *Aelterer Sandstein*, auch das *rothe- graue- weiſse- Todtliegende* genannt. Er ist bald grob- bald feinkörnig, und geht selbst in Trümmergestein über. Die gröſseren bis zu den kleinsten abnehmenden, ihn bildenden Körner sind durch einen eisenschüssigen, braunlichrothen oder graulichweiſsen, zuweilen etwas kalk- und mergelhaltigen thonigen Teig gebunden, worin eingemengte Glimmerblättchen vorkommen, die Trümmer in ihm sind den umliegenden älteren Felsarten ähnlich, und daher verschiedenartig an Masse und Gestalt. Von zufälligen Einmengungen findet man ihn meistens frei, auch enthält er nur selten einzelne Ueberbleibsel älterer Vegetabilien und Thiere; um so merkwürdiger sind die ganzen Baumstämme, welche sich in ihm mitunter von 3 F. Durchmesser und 15 F. Länge namentlich da finden, wo er schieferartiger wird, z. B. im Kiffhäuser bei Stolberg, im Nesselberge in Thüringen u. s. w. Er zeigt deutliche Schichtungen, welche zuweilen waagerecht liegen, und bildet Gebirgszüge von 5000 bis 6000 F. Mächtigkeit mit schroffen Felsen und steilen Gebirgsrücken am Fuſse von Ur- und Uebergangsgebirgsketten.

Mit ihm auf gleicher Altersstufe steht der *Kohlensandstein*, ein feinkörniges Gebilde hauptsächlich aus abgerundeten Quarzkörnern bestehend, welche in einem grauen, schieferthonartigen Bindemittel meistens nur lose vereinigt sind; von grauer, ins Weifse übergehender und zuweilen durch Eisenoxyd röthlicher Farbe, schliefst Ueberbleibsel aus dem Pflanzenreiche und auch Muscheln ein, und scheint ein eigenthümlicher, in ungleichen Zeiten gebildeter Absatz des älteren Sandsteines zu seyn. Er macht im Wechsel mit *Schieferthon* und *Kohlen* (Schwarzkohlen) das *ältere Kohlengebilde* aus.

Der *Schieferthon*, auch *Kohlenschiefer*, *Kräuterschiefer* genannt, ist ein verhärteter, Kohlenstoff oder Bitumen enthaltender, Thon von schieferiger Structur, schliefst hauptsächlich Ueberreste aus dem Pflanzenreiche in wohlerhaltenen Abdrücken ein. Als eine Abart desselben ist der mit Bitumen stark geschwängerte, und daher brennbare, *Brandschiefer* anzusehen.

b. *Zechstein*, *Alpenkalk*, *Flötzkalk*, ein dichter Kalkstein von verschiedener Farbe, gröberem oder feinerem splitterigen Bruche, meistens rein von fremdartigen Beimischungen, zeigt sich sowohl in einzelnen Schichten als auch in weit ausgedehnten Gebirgsstrecken leer von Petrefacten, zuweilen aber auch mit einer Menge Ueberbleibsel früherer Meeresgeschöpfe erfüllt. Er ist nicht allezeit geschichtet, oft stark zerklüftet, wird vom Regenwasser allmälig weggewaschen oder vom fliefsenden Wasser weggespült, so dafs sich grofse Höhlungen in diesen Bergen bilden. Man findet ihn in grofser Menge über den Erdball verbreitet, und zu bedeutenden Bergen aufgehäuft. *Kupferschiefer*, aus Kalk und Thon bestehend, mit Bitumen und verschiedenen metallischen Substanzen, hauptsächlich Kupfer und Eisen durchdrungen, von braunlich- blaulich- und graulichschwarzer Farbe, schliefst häufig einzelne versteinerte Fische und Muscheln ein, ist am häufigsten über dem älteren Sandsteine unmittelbar gelagert, verwittert leicht an der Luft und bildet dann eine schwarze Erde. *Stinkstein*, eine dichte Kalksteinfelsart von brauner, grauer oder schwärzlicher Farbe, welcher beim Reiben oder Erwärmen einen widerlichen, von beigemengtem Schwefel oder Bitumen herrührenden, Geruch verbreitet. Man findet ihn neben Alpenkalk in kleinen Lagern, aber auch zu ganzen Hügeln aufgehäuft. Ihm kann als ähnliches Gebilde der *Rauhstein* beigezählt werden, welcher zwischen Dolomit und

Stinkstein in der Mitte steht, ein thonig kieseliger Kalkstein mit wenig Bitumen. Desgleichen *Asche*, eine erdige Auflösung des Stinkkalkes, welche in Lagern von 3 bis 9 F. Mächtigkeit zwischen Stinkkalk und Alpenkalk oder Gyps gefunden wird. Auch der *körnige Gyps* gehört hierher.

c. *Bunter Sandstein*, von den Streifen und farbigen Zeichnungen in demselben benannt, aus kleinen, sehr gleichförmigen, rundlichen Quarzkörnchen bestehend, welche durch ein, meistens thoniges, oft eisenschüssiges, Bindemittel vereinigt sind, von verschiedener Farbe und Härte. Er ist fast frei von zufälligen Beimischungen und Petrefacten, kenntlich geschichtet, und kommt häufig in mehr oder minder mächtigen, niederen, von Thälern durchschnittene Berge bildenden Lagern vor, und wechselt mit häufigen Kalklagern.

Roggenstein, runde, aus concentrischen in gebildete gröſsere und kleinere Kugeln aus Kalkmasse in einem Teige von Kalk zusammengebacken. Er ist nur selten selbstständig über gröſsere Räume verbreitet, meistens als einzelne Lager von geringer Mächtigkeit in Kalksteinfelsen eingeschlossen.

Ueber diesen findet sich gelagert *bunter Mergel*, *Thon*, oft salzführend (Salzthon) mit *Fasergyps* und *Stinkkalk*. Hiervon ist verschieden der *Mergel*, ein mit Thon oder auch Kieselerde, zuweilen mit beider zugleich, gemengter Kalk, bei mehrerem Kieselgehalte auch *Sandmergel* genannt, meistens schieferig, von unrein weiſser und verschiedenen andern Farben. Der *Salzthon* ist ein kohlenstoffhaltiger, bituminöser Thon, welcher mit kleinen Salztheilen durch das Ganze seiner Masse gemengt ist, feinerdig im Bruche, von Farbe grau ins schwärzliche und selten Versteinerungen führend. *Fasergyps*, seltener *Anhydrit* kommen in ihm in Lagern von gröſserer oder geringerer Mächtigkeit vor. Er bezeichnet die Lagerungen des *Steinsalzes*, welches den Felsarten vom Zechstein an bis zum Muschelkalke angehört.

d. *Muschelkalk*, *Kalk von Göttingen*, *Flötzmuschelkalkstein*, *Muschelmarmor*, *Gryphitenkalk*, von der erstaunenden Menge der eingeschlossenen Petrefacten benannt, ist ein einfacher, bloſs mehr oder weniger Kiesel- und Thon-Erde auch etwas eisenoxydhaltiger Kalkstein. Er widersteht der Verwitterung sehr, ohnerachtet seiner Weichheit, ist stark zerklüftet und geschichtet, sehr weit verbreitet, bildet aber nur niedrige

Hügel und Berge meistens von rundlicher Form. An seinen beiden Grenzen findet sich *Thonmergel.*

Diese Felsart wechselt nach oben mit *weifsem* oder *Quader-Sandstein.* Letzterer ist von der Art seiner Zerklüftung und seiner Anwendung zum Bauen benannt, besteht aus feinen, sehr gleichförmigen, durch ein thonhaltiges, in geringer Menge vorhandenes Bindemittel verbunden. Die Farbe desselben ist graulich oder gelblich weifs, selten durch Eisen röthlich gefärbt, er führt nur sparsam fremdartige Einmengungen, und Versteinerungen nur da, wo er unmittelbar auf Kalkfelsen ruhet. Die Schichtungen desselben sind sehr kenntlich, die Zerklüftungen schneiden einander oft in rechten Winkeln, und durch beides entsteht die Bildung eigentlicher Quadern.

e. Wechselnde Lager von *Quadersandstein* und *Gryphitenkalk.* Hierin finden sich viele Reste von Pflanzen aus der Classe der Dikotyledonen vermengt mit denen aus der Classe der Monokotyledonen.

f. *Jurakalk*, dicht, von muschligem auch splittrigem Bruche und sehr lichter, graulich weifser, oder gelblicher Farbe. Es ist dieses eine sehr zusammengesetzte Formation, mit vielem sandhaltigen Mergel wechselnd und durch Beimengung von Thon selbst in Mergel übergehend. Seine durch dünne Thonlager getrennten Schichten liegen oft horizontal. Er findet sich in Lagern von geringer Mächtigkeit bis zu ganzen Bergen aufgehäuft, am häufigsten am Jura, auf der schwäbischen Alp u. s. w., auch schliefst er sehr ausgedehnte Höhlen ein. Der *Lithographische Stein*, von seiner Anwendung zum Steindrucke benannt, bildet nur eine Abart desselben [1].

---

1 Oft findet man von unten nach oben hin mergelhaltigen Kalk mit Gryphiten, Roggenstein, Madreporenlager (calcaire à polipiers), schiefrigen Kalk mit Fischen und Krustaceen und kugeliches Eisenoxydhydrat. Auch das *Knochentrümmergestein*, die *Knochenbrekzie*, ein Conglomerat aus Thierknochen und verschiedenen Geschieben von Felsarten, hauptsächlich Kalkstein, kann hier erwähnt werden. Ganze Thiergerippe finden sich nie in demselben, wohl aber alle Arten von Knochen, selbst menschliche in unordentlicher Lage und nicht eigentlich versteinert, sondern vielmehr calcinirt. Die Felsart ist vorzüglich als niedere Hügel und in Felsspalten an den Küsten des mittelländischen Meeres verbreitet. Seine Bildungszeit scheint mit dem letzten Aufenthalte des Meeres auf der Oberfläche unserer Erde zusammenzuhängen.

g. *Secundärer Braunkohlensandstein* (Molasse), ein feinkörniger nicht sehr fester Sandstein, mit wenigem thonigem, kalkigem, oder mergelichem Bindemittel und von weifslichgrauer Farbe. Versteinerungen von See- und Landthieren enthält derselbe bald sparsamer, bald in gröfserer Menge, ist deutlich geschichtet, und ziemlich weit verbreitet. *Ironsand*, ein durch Eisenoxydhydrat gefärbtes Sandgebilde, aus wechselnden Lagen von Sandstein und Sand bestehend, welches sich vorzüglich im südlichen Theile von England findet, wo er bis zu 500 F. ansteigende Hügelzüge bildet.

Greensand, grüner Sandstein, dem Ironsand nahe stehend, ein Sandstein von gröfserer oder geringerer Festigkeit, durch ein kalkiges Bindemittel zusammengehalten, erhält seine Farbe durch eingemengte Grünerde ähnliche Theile und Glimmerblättchen nebst Eisenoxydhydrat.

h. *Kreide* mit Chlorittheilchen gemengt (craie chloritée), *gemeine Kreide*, durch eine chloritähnliche, in kleinen grünen Puncten beigemischte Substanz gefärbt, und *weifse Kreide*, die bekannte Kalkerde mit einem unbedeutenden Zusatze von Talk, Thon, etwas Eisenoxyd und höchst feinem Quarzsande. Sie enthält häufig Versteinerungen, ist oft auf weite Strecken von bedeutenden Spalten durchzogen, auf Gebirgsarten von sehr verschiedenem Alter gelagert, und findet sich in Lagern von sehr geringer Mächtigkeit bis zu eigentlichen, obwohl nicht sehr hohen Bergen.

4. *Tertiäre Felsgebilde.* Nach D'AUBUISSON gehören hierzu alle diejenigen, welche jünger sind als die Kreideformation, und nach v. HUMBOLDT fangen sie mit den Resten zerstörter Kotyledonen an. Sie bestehen hauptsächlich aus Kalk-Thon- und Sandsteingebilden, sind sämmtlich aus zerstörten älteren Felsarten durch wässerigen Niederschlag entstanden, und enthalten eine unglaubliche Menge Reste einer früheren Thier- und Pflanzenwelt. Endlich kann als entscheidender Charakter noch angeführt werden, dafs sie nur den niedrigern Gebirgen angehören, und meistens horizontal geschichtet sind. Nach v. HUMBOLDT gehören dazu

a. *Thon* und *tertiärer Braunkohlensandstein*, letzterer etwas jünger als der oben unter den secundären Felsarten genannte; *plastischer Thon*, eine erdige, mehr oder minder zerreibliche Masse, kenntlich durch seinen eigenthümlichen Thon-

geruch, welchen er im feuchten Zustande giebt, und das Ankleben an die nasse Zunge im trockenen. Von Farbe ist derselbe sehr verschieden, meistens weifslich, ins Gelbliche und Bläuliche spielend, findet sich in Lagern von einem bis zu einigen hundert Fufs Mächtigkeit, und enthält die vielfachsten Reste der Pflanzen- und Thierwelt. *Molasse* und *Nagelflue*, welche zuweilen wechseln, wenn die Kreide fehlt. Die Nagelflue hat ihren Namen von dem schweizerischen Worte *Flue*, eine steile Felswand, aus welcher Steine gleich grofsen Nagelköpfen hervorragen. Es ist dieses ein Trümmergestein aus kleineren und gröfseren Bruchstücken hauptsächlich von Kalkstein, selbst aus Rollstücken von Granit, Gneis, Porphyr und Diorit, auch aus Geschieben von Hornstein, Feuerstein, Thon- und Kieselschiefer, und Serpentin bestehend, welche durch einen kalkigsandsteinartigen Kitt zusammengehalten werden. In der Schweiz, wo diese Felsart häufig vorkommt, nimmt die Gröfse der Bruchstücke mit der Höhe der benachbarten Kalkfelsen ab. Eigenthümliche Versteinerungen enthält die Nagelflue nicht, wohl aber finden sich solche in den kalkigen Bruchstücken. Sie verwittert schwer; allein weil die Unterlagen derselben durch den Einflufs der Atmosphärilien zerstört werden, so stürzen oft gröfsere oder kleinere Massen derselben mit grofsem Getöse herab. Auch die höchsten Lagerungen des *Jurakalkes* gehören hierher.

b. *Grobkalk*, *Pariser Kalkstein*, *Ceritenkalk*, *Kalkstein von Bolca*, *Thon von London*, *sandiger Kalkstein* von *Regnor*. Der Grobkalk wurde zuerst in der Gegend von Paris, nachher auch an andern Orten gefunden, eine Kalkmasse von gröberem oder feinerem Korne und graulich weifse Farbe, mehr oder minder fest bis zum Zerreiblichen, mit vielfachen Einmengungen, insbesondere aber so viele Muschelschalen enthaltend, dafs die Kalkmasse zuweilen ganz verschwindet. Auch Abdrücke von Stengeln und Pflanzen, Fischen und deren Gerippen kommen in demselben vor. Er ist geschichtet mit Zwischenlagen von thonigem und kalkigem Mergel, findet sich häufig, bildet jedoch keine hohen Berge. Neben ihm stehen die *Braunkohlen*.

c. *Kieseliger Kalkstein* und *knochenhaltiger Gyps* mit *Mergel* wechselnd. In diesem Gebilde finden sich die vielen Knochen von Landthieren, insbesondere die Mammut- und anderen Gerippe.

d. *Sandstein* von *Fontainebleau,* ein mehr örtliches Gebilde.

e. *Kalktuff* und *Süſswasserkalk*, Gebilde des süſsen Wassers, weswegen sich in ihnen keine Reste von Seethieren finden. Der *Kalktuff* zeichnet sich aus durch sein loses, schwammiges Gefüge, der *dichte Süſswasserkalk* dagegen ist dicht, weiſs, zuweilen grau, schiefrig, mit vielen Resten der Thier- und Pflanzenwelt, und überdeckt Ebenen und niedere Hügel. Der *Kieselkalk*, wegen seines Antheils an der ihn durchdringenden quarzigen Materie so genannt, und der *Travertino*, eine dichte Kalkmasse mit zufälligen Beimengungen vulcanischer Stoffe, kann hier gleichfalls genannt werden. *Poröses Quarzgestein* (*Mühlstein*), ein höchst feinkörniger, stellenweise ins Dichte sich verlaufender Quarz, welcher bald mehr Chalcedon- bald mehr Feuersteinartig wird, von weiſser, ins Röthliche und Grauliche sich verlaufender Farbe, insbesondere aber ausgezeichnet durch seine zahllosen Höhlungen, und die in diesen befindlichen fadenartigen quarzigen Gebilde. Er ist theils frei von Versteinerungen, theils ganz erfüllt mit einschaligen Muscheln und Pflanzentheilen, und ist eins der jüngsten Süſswassergebilde, welches sich nicht häufig in einzelnen Stücken und Lagern von geringer Mächtigkeit findet.

f. *Aufgeschwemmtes Erdreich.* Dieses wird von den meisten Geognosten als eine eigene Classe von jüngerem Alter als die tertiären Felsarten betrachtet. Man rechnet dann darunter *Lehm*, ein mit mehr oder weniger Quarzsand und Kalkerde gemengter, durch Eisenocher gefärbter, zerreiblicher Thon, welcher sehr allgemein in Lagern von verschiedener Mächtigkeit verbreitet ist; *Loeſs*, ein lehmiges, gelblich-graues Gemenge aus Thon- Kalk- und Kieseltheilen mit versteinerten und calcinirten Conchilien und Knochen von Thieren der Vorwelt. *Walkererde*, welche weich und zerreiblich, weiſslichgrau ins Grünliche spielend ist, mit Wasser einen nicht formbaren Brei giebt, und aus zersetztem Diorit uud Dioritschiefer besteht. *Sand* endlich, das Product zerstörter quarziger Felsarten, ist so allgemein und an einigen Orten in so ungeheurer Menge vorhanden, daſs er keiner weiteren Beschreibung bedarf. Man könnte der Vollständigkeit wegen hier noch die *Dammerde*, als oberste Kruste des cultivirten Theiles des Erdballes anreihen, welche von einigen Zollen bis zu einigen Fuſsen Dicke aufgelagert ist.

5. Eine Hauptclasse von Fossilien machen die *vulcanischen Gebilde* aus. Sie verdanken im Allgemeinen den vulcanischen Kräften ihren Ursprung, und da die Thätigkeit der Vulcane sehr frühe begonnen zu haben scheint, und bis diesen Augenblick fortdauert, durch alle diese Zeiten hindurch aber ähnliche Producte erzeugt sind, so läſst sich auf keine Weise eine nach der Zeit geordnete Reihenfolge solcher Gebilde angeben, sondern sie werden am besten unter gewisse Hauptclassen geordnet. Einige von diesen beobachten wir zwar nicht mehr in ihrer Entstehung, und es ist daher lange streitig gewesen, ob sie auf die angegebene Weise entstanden wären, inzwischen sind überwiegende Gründe vorhanden, dieses anzunehmen. Indem aber weder die Art ihrer Entstehung noch die Untersuchung der vulcanischen Thätigkeiten überhaupt hier abgehandelt werden kann[1], so betrachten wir die durch dieselben gebildeten Felsarten, sey es daſs sie durch vollständige oder unvollständige Schmelzung gebildet sind, und mögen sie überhaupt im glühenden oder heiſsen, wässerig flüssigen oder breiartigen Zustande an den Ort ihrer gegenwärtigen Lagerung gekommen seyn, für jetzt nur so, wie sie in das Gebiet der Geognosie gehören. Es werden dahin gerechnet[2]

a. *Trachytische Formationen.* Der *Trachyt* (von *τραχύς* rauh) auch *Trapp-Porphyr, Domit,* genannt, besteht aus einer feinkörnigen Grundmasse mit einliegenden Krystallen glasigen Feldspaths. Nach L. v. Buch entsteht er durch die Einwirkung heiſser Dämpfe auf den Granit, welche den Quarz bis zur Unkenntlichkeit zersprengen, dem Feldspath seinen Perlmutterglanz und sein Blättergefüge rauben, die Krystalle in die Länge zerreiſsen und ihre Durchsichtigkeit erhöhen, Glimmer und Hornblende aber nicht angreifen. Die Farbe desselben ist schmutzig weiſs, ins Gelbliche, Röthliche, Bläuliche übergehend. Man unterscheidet verschiedenartige Trachyte je nach der Art des Gefüges und der beigemengten Bestandtheile. Unter andern giebt es *granitische Trachyte*, aus zahllosen Krystallen glasigen Feldspathes mit zwischenliegenden Krystallen

---

1 S. *Vulcane.*

2 Die Anordnung ist aus v. Humboldt geognostischer Versuch u. s. w. namentlich aus der S. 366. angehängten tabellarischen Uebersicht entnommen.

schwarzen Glimmers und sparsamen Theilen Hornblende; *porphyrartige Trachyte,* ein Teig aus Feldstein mit Krystallen von glasigem Feldspath und Augit; *halbverglaste Trachyte*, deren Teig halbverglaset, schwarz oder braun ist. Der Trachyt scheint unterhalb der granitischen Erdrinde emporgehoben zu seyn, wird zuweilen umlagert durch Basalt, und scheint dessen Grundlage zu bilden, wie er überhaupt in der Regel nur von vulcanischen Gebilden überdeckt ist. Er ist sehr allgemein verbreitet. Seine Berge sind bald in der Mitte der Ebenen einzeln emporsteigend, bald zu mehreren über einander gehäuft, zeichnen sich überhaupt durch ihre Höhe und kegelförmige Gestalt insbesondere im neuen Continente aus.

Der *Phonolith* (von φωνή die Stimme, der Ton und λίθος der Stein, wegen seines hellen, bis zum glockenartigen, Tones beim Anschlagen mit dem Hammer) ein lavaartiger Stein von grauer Farbe mit etwas Grün untermischt, besteht im Allgemeinen aus Feldstein mit eingewachsenen Feldspathkrystallen und manchen andern zufälligen Beimengungen. Die Felsart verwittert zum Theil schwer, zum Theil durch Zerklüftungen leicht, und giebt dann fruchtbares Erdreich. Sie zeigt sich in dicken, ziemlich hohen und nahe parallelen Säulen, welche in großer Menge neben einander geordnet meistens in Platten zerspalten sind. Auch der Phonolith bildet kegelförmige, fast stets einzeln hervorragende, spitze und auch gewölbte Berge, deren entblößte Oberflächen sich durch einen weißlichen Ueberzug auffallend von den benachbarten basaltischen unterscheiden. Die Felsart ist zwar nicht sehr allgemein, aber doch nicht eben selten in basaltischen Gegenden.

Perlstein, ein schmelzartiges, glasiges Gestein, aus ungleich großen, körnig abgesonderten, concentrischschaligen oder keilförmigen Stücken bestehend, mit Perlmutterglanz, unrein grau von Farbe, ins Gelbliche, Rothe, Braune, selten ins Schwärzliche spielend, ist nicht selten porös mit ins Längliche gezogenen, meistens parallelen, Blasenräumen. Man findet diese Felsart in manchen Gebirgen bedeutend verbreitet, indem sie niedrige, kegelförmige Hügel bildet, mitunter auch Bergmassen, welche bis 900 oder 1200 F. Höhe sich über die benachbarten Ebenen erheben und Flächen von 50 Quadratstunden überdecken.

Obsidian ist ein Begleiter des Perlsteins. Dieser sieht einer

gut geflossenen Schlacke mehr oder weniger ähnlich, und ist meisens glasig, schwarz und an den Kanten durchscheinend. Auch dieser ist zum Theil mit in die Länge gezogenenen Blasenräumen erfüllt, und ein Begleiter der Vulcane oder vulcanischer Erzeugnisse. Er findet sich als Lager im Trachyt, in Bimsstein und mit diesem durchwachsen, und im Basalte, endlich auch in grofsen Blöcken von Vulcanen ausgeworfen.

b. *Basaltische Formationen.* Hierhin gehört vornehmlich der *Basalt* selbst, ein inniges Gemenge aus Augit-Feldspath- oder Feldstein- und Magneteisen-Theilchen, sehr hart und von blaulich- und graulich-schwarzer Farbe. Der letztgenannte Bestandtheil erzeugt seine Einwirkung auf den Magnet. Nicht selten umschliefst die Masse zahlreiche ungleich grofse Blasenräume, und wird dadurch zum basaltischen Mandelsteine (basalte amygdaloïde), indem die Räume entweder leer oder mit verschiedenartigen Gesteinen erfüllt sind. Hauptsächlich findet sich im Basalte, als ihn charakteristisch bezeichnend, der *Olivin*, auch umschliefst er Bruchstücke verschiedener Felsarten, namentlich Stücke von Granit, Gneis, feldspathreichem Syenit, Grauwacke u. s. w. deren Oberfläche meistens mit einem glasigen Schmelze überzogen ist.

Der *Basalt* ist insbesondere ausgezeichnet durch die Säulen, welche er bildet. Indefs kommt nicht aller Basalt in solchen Säulen vor, sondern mitunter blofs unförmlich zerklüftet, und in abgerundeten, mit einer weifslichen Kruste überzogenen Stücken. Die schönsten Säulen giebt der feinkörnige, bläulich-schwarze. Sie haben meistens fünf oder sechs, zuweilen sieben, drei und vier, selten zehn Seiten, einen Durchmesser von 6 Z. bis 6 F., sind zuweilen nach oben verjüngt und von einigen F. bis an 200 oder gar 300 F. Höhe und aus mehreren Gliedern zusammengesetzt, finden sich in allen möglichen Lagen, horizontal, schräg, unordentlich zusammengestürzt, sehr häufig aber lothrecht als unzählige parallele Pfeiler zusammengeordnet. Auf solche Weise bilden sie die riesenhaften Dämme, Wälle, Grotten und Höhlen, welche einen höchst imposanten Anblick gewähren, worunter namentlich die *Fingalshöhle* auf der Insel Staffa an der westlichen Küste von Schottland zu den schönsten und merkwürdigsten gehört[1]. Uebrigens finden sich Basalte in

Fig. 185.

1 Die Zeichnung ist aus dem Atlas zu Baerlar's Institutions géo-

und über Ur- Uebergangs- und Flötz-Formationen gelagert, theils als Gänge, theils als zu Tage ausgehende Bergmassen. Als eigene Berge erheben sich die Basaltischen in Form von Kegeln und rundlichen gewölbten Kuppen von bedeutender Höhe.

Ueber den Ursprung des Basaltes hat man sich lange gestritten, indem die Neptunisten seine Entstehung als wässerigen Niederschlag zu vertheidigen bemühet waren. Anhänger dieser älteren Meinung waren hauptsächlich Werner[1], Richardson[2], d'Aubuisson[3], Brocchi[4] und andere. Als Hauptargumente führen sie an, dafs der Basalt sich durch die Einwirkung des Feuers beträchtlich verändert, folglich nicht im Feuer gewesen seyn kann, dafs er schichtenweise mit kohlensaurem Kalke durchzogan ist, Muscheln und Testaceen im unversehrten Zustande, ja sogar Wasser in sich enthält und selbst auf unveränderten Kohlen aufliegt. Indefs haben neuere Erfahrungen dargethan, dafs der Kalk unter starkem Drucke selbst in der Glühhitze die Kohlensäure nicht verliert[5], die Muscheln aber konnten in den Basalt kommen, als er sich in einem weichen, breiartigen Zustande befand, oder in die heifse Masse fest eingeschlossen blieben sie, wie der Kalk, unverändert. Für ein vulcanisches Product, welches theils als Lava geflossen, theils als breiartiger Teig von den Vulcanen ausgeworfen seyn kann, halten den Basalt de Luc, Faujas de St. Fond[6], Dolomieu und Fortis[7], Hamilton[8], hauptsächlich L. v. Buch[9], S. Breislak[10], Keferstein[11], auch d'Aubuisson, welcher spä-

---

logiques genommen, wo sich die vorzüglichsten Basaltgruppen ausnehmend schön dargestellt finden.

1 Höpfner Mag. für die Naturkunde Helvetiens. IV. 239.

2 Bibl. Brit. XVIII. 313. XXXIX. 211. XLIV. u. XLV.

3 Mém. de l'Inst. an. XI. J. de Ph. LVIII.

4 Catalogue raisonné d'une Collect. des Roches. Milan 1817.

5 Vergl. unten.

6 Mineralogie der Vulcane, a. d. Fr. Leipz. 1786. Recherches sur les Volcans eteints de Vivarais et de Velay. Par. 1778. fol.

7 Briefe zweier ausländ. Mineralogen über den Basalt. Zürich 1792.

8 Neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens u. am Rhein u. s. w. Frankf. u. Leipz. 1784. 8. S. 18.

9 Bibl. Brit. XVI. 228. u. a. v. a. O.

10 Instit. géol. a. v. O.

11 Beiträge zur Kenntnifs und Geschichte des Basaltes. Halle 1819.

ter zu dieser Ansicht übergegangen ist, und sie mit den triftigsten Gründen unterstützt hat[1], A. v. Humboldt[2], v. Hoff[3], Noeggerath[4], Boué[5], Beudant[6], v. Leonhard[7] und viele andere. Aufser manchen andern Beweisen hat mir allezeit ein sehr augenfälliger in dem Anblicke des Volcan de la Coupe[8] zu liegen geschienen, wo man noch deutlich sieht, wie die aus dem Krater geflossene Masse sich am Fuſse des Berges in Basalt verwandelt hat. Ferner brachte Stanley von seiner Reise nach Island eine Basaltsäule mit, welche an ihrem unteren Theile aus eben der grauen, porösen Lava des Hecla bestand, die noch jetzt von diesem Vulcane ausgeworfen zu werden pflegt. In gröſserer Höhe wird das Korn des Gesteines dichter, und geht zuletzt in eine regelmäſsig geformte Basaltsäule über[9]. Als unwiderlegbarer Beweis dienen aber die Basalte, welche noch in neueren Zeiten bei der Entstehung des *Jorullo* in America gebildet sind[10], auch lassen sich diejenigen Veränderungen zur Unterstützung dieser Hypothese anführen, welche der Basalt in den von ihm berührten und überdeckten Felsarten hervorgebracht hat, und wobei der Einfluſs groſser Hitze nicht zu verkennen ist[11], so daſs man hiernach nicht umhin kann, die Ursache seiner Entstehung den vulcanischen Kräften beizulegen, wodurch die, unter dem Einflusse der Hitze, des Wassers und hauptsächlich der Dämpfe umgewandelten, Felsarten zum Theil Lavenartig, zum Theil Breiartig aus den Kratern geflossen sind, und beim Uebergange in den festen Zustand ihre gegenwärtige Form angenommen haben.

Daſs auch der *Phonolith* den basaltischen Formationen an

---

1 Géognos. II. 601.

2 Geognost. Versuch u. s. w. S. 349. u. a. v. a. O.

3 Berlin. Magaz. Naturf. Freunde. V. 347. VII. 309.

4 Gebirge in Rheinland-Westphalen. I. 106.

5 Essay géognost. sur l'Ecosse. p. 219. Mém. géol. sur l'Allemagne. p. 193.

6 Voyage minéralogique en Hongrie. a. v. O.

7 Charakteristik d. Felsarten. II. 540.

8 Faujas de St. Fond. a. a. O. p. 298. Eine Zeichnung des Berges findet man gleichfalls im Atlas zu Breislak's Inst. geol.

9 Zimmermann Taschenb. d. Reisen für 1804.

10 v. Humboldt a. a. O. S. 354.

11 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. II. 544.

gehöre, ist oben schon beiläufig erwähnt. *Verschlackter Basalt* (*Trachytischer Mühlstein*, *Rheinischer Mühlstein*), ein rauhes, blasiges, oft völlig schlackenartiges Gestein, seinen Bestandtheilen nach dem Basalte zugehörig, findet sich auf und neben dem Basalte, auf Thonschiefer, zuweilen auch unter dem Basalte. Die Felsart ist licht- und dunkel-grau, zuweilen unrein roth, braun und schwarz von Farbe, weit leichter zersetzbar als der Basalt, schliefst verschiedene andere Fossilien in sich, macht oft die obere Rinde der Basaltkuppen aus, bildet aber auch eigene kegelförmige Berge, und findet sich aufserdem in mächtigen Lagern.

Unmittelbar an den Basalt grenzt der *Dolerit*, und ist eigentlich nur als eine Abart desselben zu betrachten. Er besteht aus Feldstein oder Feldspath, zuweilen aus beiden, desgleichen aus Augit und Magneteisen, und ist von krystallinischem oder doch wenigstens körnigem Gefüge, welches mitunter so fein und dicht wird, dafs die Felsart völlig basaltisch scheint. Je nach dem Quantitativen der Gemengtheile ist der Dolerit verschieden, und wird durch stark vorwaltenden Augit mitunter ganz augitisch. Blasenräume sind in ihm nicht selten, und oft in solcher Menge vorhanden, dafs er zum eigentlichen Mandelsteine wird (*Dolerit-Mandelstein*, manche *Basaltische Mandelsteine*), und es sind dann diese Blasenräume entweder leer oder mit verschiedenen Steinarten erfüllt. Der Dolerit führt mehrere beigemengte Fossilien, und unter diesen auch *Olivin*, geht in Basalt und Wacke über, so dafs die Grenze zwischen ihm und dem ersteren nicht scharf bezeichnet werden kann, verwittert leicht, ist zuweilen geschichtet, zeigt aber auch regelmäfsig säulenförmige und kugelige Absonderungen und findet sich auf Basalt und Wacke, desgleichen auf Glimmerschiefer und andern älteren Gebirgsarten, zuweilen auch auf rothem Sandsteine gelagert. Der Ursprung des Gesteines ist wohl ohne Zweifel dem des Basaltes verwandt, auch wird er oft für Basalt angesehen. Ferner gehört zu ihm als Abart muthmafslich die *Lava vom Capo di Bove*, ein dunkelgrau-schwärzliches feinkörniges Gestein, aus Leuzit, Augit, Magneteisen, Nepholin und Melilith in verschieden wechselndem quantitativem Verhältnisse gemengt.

Mandelstein, *mandelsteinartiger Trapp*, (und manche *Wacken*) ein scheinbar gleichartiges, häufig zelliges, blasiges

oder schwammiges Gestein von grünlich-grauer und schwärzlicher Farbe, ist wahrscheinlich nicht sowohl ein eigenthüml. Felsgebilde, als vielmehr ein durch vielfache Einflüsse umgewandelter Basalt, Dolerit u. s. w. oder zum Theil schon zersetzte Lava. Gänzlich verwitterte Theile geben der Felsart dann ein gefleckte Ansehen. Auch in ihr finden sich gröfsere und kleinere, rundliche und in die Länge gezogene Blasenräume, welche theils leer sind, theils mit verschiedenartigen Gesteinen erfüllt. Als Einschlüsse enthält sie Augit, Feldspath, Glimmer, Hornblende und Grünerde, verwittert leicht und verwandelt sich in Thon oder in eine fette, fruchtbare Erde. Die Wacke steht mit dem Basalte, dem Dolerite, Phonolithe und verwandten Felsarten in unmittelbarer Verbindung, und bildet sowohl Lager als auch einzeln stehende, Pyramidenähnliche Berge.

Die *basaltischen Trümmergesteine, Basaltbrekzie, Basalttuff, Trapptuff, basaltische Conglomerate* lassen sich gleichfalls hier anreihen. Sie bestehen aus eckigen, öfter aus abgerundeten Stücken von Basalt, welche gröfser und kleiner, theils frisch, theils mehr oder weniger zersetzt sind, aus Bruchstücken von Basalt, Dolerit, Wacke und Mandelstein nebst Rollsteinen älterer und jüngerer Felsarten, selbst Fragmenten von verkohltem Holze, welches alles in einen Teig meistens aus zerkleinerten Trümmern derselben Substanz gebunden ist. In den eingeschlossenen Kalkstücken finden sich verschiedene Versteinerungen, nur selten einzelne im Gesteine selbst. Der *Trapptuff* ist ein steter Begleiter des Basaltes und einiger Flötztrappfelsarten, umgiebt die basaltischen Berge, und wechselt zuweilen mit Basaltlagen in Schichten, welche meistens flach fallend mitunter senkrecht stehen. Man erklärt seine Entstehung daraus, dafs die basaltischen Massen beim Emporquellen die verschiedenen Bruchstücke einhüllten.

c. *Lava*, eine im Innern der Vulcane durch Einwirkung des Feuers flüssig gewordene, und durch die Krater ausgeworfene Mineralsubstanz vom mehr Erdigen bis zur vollständig geflossenen Schlacke übergehend, verschieden an Farbe und bald schwammig locker, bald schlackenartig fest. Hauptbestandtheile derselben sind Feldspath, Leuzit, Augit und titanhaltiges Magneteisen in verschiedenem quantitativen Verhältnisse. Beigemengt sind Glimmer, zuweilen Olivin und vielleicht Hornblende, und aufserdem schliefst sie verschiedene, meistens zufällig hin-

eingekommene Fossilien ein, Ueberbleibsel einer früheren Thier- und Pflanzenwelt sind ihr indeſs ganz fremd. Die härteren Arten derselben verwittern sehr schwer, die weicheren und poröseren leichter, und geben dann meistens einen sehr fruchtbaren Boden. Lagerungsverhältnisse lassen sich bei ihr nicht angeben, indem sie allezeit über vorhandene Gebirge in Strömen von ungleicher Breite und Mächtigkeit geflossen ist. Die *verschlackte Lava* hat ihren Namen von dem schlackenartigen Ansehen. Sie ist meistens schwarz, zuweilen braun, gelblich, grünlich oder grau, und begleitet die gemeine Lava.

Der *Bimsstein*, eine erhärtete schaumartige Lava (*pumex*, ursprünglich *spumex*, Lavaschaum[1]) von faseriger und gewundener Textur, perlmutterglänzend, meistens von schmutzig weiſser, ins Gelbliche spielender Farbe, reihet sich den Laven als ähnliches Gebilde unmittelbar an. Die Bimssteinmassen schlieſsen mitunter Bruchstücke verschiedener Felsarten ein, finden sich sehr häufig als groſse, abgerundete Blöcke, in einigen Gegenden selbst weit von Vulcanen zu ganzen Bergen aufgehäuft, und nicht selten auf dem Meere in solcher Menge schwimmend, daſs sie ganze Inseln bilden. Nicht alle Vulcane werfen denselben aus, einige aber liefern ihn in ungeheurer Menge.

Bimsstein-Brekzie, welche hier wohl am schicklichsten ihren Platz findet, begreift zwei Arten; die eine, in welcher die Bimsstein-Fragmente ohne Bindemittel zusammenhängen, die andere, in welcher sie durch ein Bimsstein-Cäment verbunden sind. Die erstere Art ist mehr fest und gleicht dem *blasigen Perlstein* etwas, in der zweiten ist der Bimsstein zu Sand zermalmt und nur in einigen Fragmenten noch kenntlich. Beide Arten sind im Allgemeinen von fremdartigen Einmengungen frei, eingeschlossen findet man aber Holzopal, vegetabilische Ausdrücke, Holzstücke und sogar auch Meeresmuscheln, hauptsächlich nur als Abdrücke. Dieses Conglomerat findet sich in gröſserer und geringerer Mächtigkeit in der Nähe des Perlsteins gelagert, mitunter von den Massen dieser Felsart ganz umgeben, und zeigt in seinem ganzen Verhalten unverkennbare Spuren eines sehr ruhigen Niederschlages.

d. Endlich gehören zu den vulcanischen Gebilden noch die Tuffe, deren es verschiedene Arten giebt. Dahin wird ge-

1 Vossii Etymol. sub voce pumex.

zählt der *eigentliche vulcanische Tuff*, auch *Wacke vom Monte verde*, *Pouzzolan-Gestein* genannt, eine mehr und weniger scheinbar gleichartige, lockere, weiche, fast zerreibliche Masse, gelblich oder schwärzlich braun, aschgrau und röthlich, mit mehr oder weniger fremdartigen Einmengungen und selten vorkommenden Pflanzen-Abdrücken. Das Gebilde ist ursprünglich vulcanisch, aber durch Wasser fortgeschwemmt, und hieraus abgesetzt, überdeckt daher auch die Felsarten der tertiären Formation, und findet sich hauptsächlich nur an der Südwestseite den Appeninen, namentlich in der Gegend von Rom.

Trass oder *Terrass*, eine erdige, unrein gelbe, ins Graue oder Braune übergehende Masse, worin sich Bimssteinstücke, Fragmente von Thonschiefer, Trachyt- und Basalt-Brocken u. s. w. finden, ist gleichfalls ein durch Wasser aufgeschwemmtes vulcanisches Conglomerat, welches in Lagern von 10 bis 20 F. Mächtigkeit die Thäler ausfüllt. Der *Posiliptuf*, eine blassrothgelbe, oder gelblich weisse, erdige, spröde und leichte Masse mit einliegenden feinen Stücken Bimsstein und Lava, verdankt seinen Ursprung den Vulcanen mit nachfolgender Einwirkung des Wassers, und findet sich hauptsächlich an der Meeresküste oberhalb Neapel als steile, aus dem Meere hervorragende Felsen, desgleichen an den Ufern der Insel Teneriffa u. s. w. Ihm ist ähnlich der *Peperino*, eine wackenartige, meistens aschgraue, Masse von feinem Korne, mit einliegenden Bruchstücken von Augit, Glimmer, Magneteisen, Dolomit, Basalt, Lava u. s. w. und wird für vulcanische Asche gehalten, welche über weite Strecken durch wiederholte Auswürfe verbreitet und allmälig erhärtet ist. Er findet sich hauptsächlich in und unterhalb Rom. *Rapilli*, kleine Trümmer von Laven, von der Grösse einer Haselnuss bis zu der eines Hühnereies, *vulcanischer Sand*, bis zur sandigen Form verkleinerte Lava und *vulcanische Asche*, welche oft bis zur mehlartigen Feinheit in ungeheurer Menge von den Vulcanen ausgeworfen wird, lassen sich hier anreihen.

6. In den erhabenen Theilen der Erdkruste, den Gebirgen, findet man ferner die *Gänge*. Man bezeichnet hiermit diejenigen Räume, welche ganz oder theilweise mit Mineralsubstanzen erfüllt sind, und die Gebirgsart selbst unter verschiedenen Winkeln durchschneiden, indem sie bald in gerader, bald in gekrümmter Richtung fortlaufen. Die den Raum erfüllenden, von

der Gebirgsart mehr oder weniger verschiedenen Fossilien nennt man gleichfalls Gang, genauer *Gangart*, *Gangmasse*, die Neigung der Gänge gegen den Meridian sein *Streichen*, gegen die horizontale Ebene sein *Fallen*, die Gebirgsart, worauf sie ruhen, das *Liegende*, die über ihnen befindliche das *Hangende*, ihre oft sehr bedeutende, bis zu 50000 F. fortlaufende Ausdehnung in der Richtung ihres Streichens die *Längenerstreckung*, die senkrechte Entfernung zwischen dem Hangenden und Liegenden oder dem sie einschliefsenden Gesteine aber ihre *Mächtigkeit*, welche von weniger als einem Zolle bis mehr als 140 F. beträgt. Die Gangart besteht bald aus einem bald aus mehreren verschiedenen, in mannigfaltig wechselnden Verbindungen vereinigten Mineralsubstanzen, welche häufig zu den vollkommensten Krystallen ausgebildet sind. Führt der Gang ganz oder zum Theil Erze, so heifst er *edel*, im entgegengesetzten Falle *taub*. Höhlungen innerhalb der Gangmasse (zuweilen auch auf ähnliche Weise in den Felsarten vorhanden), welche leer oder häufiger zum Theil, auch wohl ganz, mit Mineralien angefüllt oder nur auf ihren inneren Wandungen mit Krystallen überkleidet sind, nennt man *Drusenräume*. Endlich sind die Gangmassen von der begrenzenden Felsart, dem *Nebengestein*, entweder scharf getrennt, wobei die berührende Fläche der Gangmasse *Saalband* heifst, oder sie sind mit derselben verwachsen, wodurch letztere verschiedene Veränderungen erleidet, so wie auch die Gangmassen selbst auf mannigfaltige Weise in einzelne Lagen geschieden, theilweise zerklüftet, abgesondert und umgewandelt sind, die Gänge aber einander durchkreuzen, verrücken oder auch durch die Gebirgsarten verdrückt werden[1].

7. *Lager* nennt man diejenigen Mineralmassen, welche, entweder an sich oder rücksichtlich ihrer Structurverhältnisse von den einschliefsenden Felsarten verschieden, zwischen letzteren liegend angetroffen werden. In geschichteten Gebirgen bilden sie der Hauptgebirgsart ähnliche Schichtungen, in ungeschichteten aber für sich bestehende plattenförmige Abtheilungen. Ein Lager im Flötzgebirge heifst auch wohl schlechtweg *Flötz*, im aufgeschwemmten Lande aber *Bank*. Das Streichen und Fallen der Lager stimmt in der Regel mit dem der einschliefsenden

---

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. I. 26. Ueber den Ursprung der Gänge s. *Geologie*.

Gebirgsarten überein, und mehrere Lager des nämlichen Gebirges befolgen hierin meistens den nämlichen Parallellismus. Mit der *Sohle* ruht das Lager auf dem tieferen Gesteine, sein *Dach* begrenzt die Ausdehnung nach oben, die lothrechte Entfernung zwischen beiden, heifst die *Mächtigkeit* derselben, und wechselt von einigen Zollen bis zu vielen Lachtern[1]; ist dieselbe verhältnifsmäfsig grofs gegen die Längenerstreckung, so nennt man solche auch *Stöcke*.

Im Allgemeinen herrscht bei Lagern mehr Einfachheit und Gleichartigkeit, als bei den Gängen, sie führen weniger Krystalle, ihre bildenden Massen sind entweder in ziemlich gleichem Verhältnisse gemengt oder es ist *eine* einzelne Gebirgsart vorherrschend, auch führen sie Erze und heifsen dann *Erzlager*, sonst aber *Gesteinlager*, enthalten selten Drusenräume, und werden von Klüften, Adern und selbst von Gängen durchsetzt. Auf das begrenzende Gebirgsgestein üben die Lagermassen einen verschiedenen Einflufs aus, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs die Entstehung beider als gleichzeitig erfolgt anzusehen sey[2].

8. Die Erdkruste ist nicht überall dicht, sondern schliefst eine Menge bis jetzt bekannte und wahrscheinlich noch viele unbekannte Räume, die sogenannten *Höhlen* ein, deren Betrachtung aber für sich angestellt zu werden verdient[3].

9. Unter diejenigen Substanzen, welche in ausnehmend grofser Menge auf und in der Erdrinde verbreitet sind[4], gehört vorzüglich das *Kochsalz* (salzsaures Natron), welches auf-

---

1 Die Eisenlager sind unter den metallischen insbesondere auf der nördlichen Erdhälfte die mächtigsten. Nach L. v. Buch Reis. II. 241. befindet sich zu Junos-Suvando in Lappmarken der nördlichste Hohofen auf der Erde unter 67° 30′ N. B., und einige Meilen tiefer bei Tornεoforfs ist abermals einer. Dort bilden die Eisenerze ganze Berge, die sich über die Oberfläche erheben. Die Lager bei Luossavara und Svappavara sind 34 und 38 Lachter mächtig, und im Eisenberge bei Kirunavara westlich von Jukasjerwi ist die Mächtigkeit des reinen Erzes schon 800 F. gesehen.

2 S. v. Leonhard a. a. O.

3 S. *Höhlen*.

4 An manchen Orten, wo das Salz bis jetzt noch rar ist, z. B. am Niger und im Innern von Guiana (nach v. Humboldt Reisen IV. 248.) liegt dasselbe vermuthlich nur tiefer, und ist daher noch nicht aufgefunden.

gelöset als Salzwasser oder fest, mehr oder weniger mit verschiedenen Substanzen verunreinigt, in einzelnen gröſseren oder geringeren Quantitäten, sehr allgemein vorkommt. Es findet sich vorzüglich im Wasser des Meeres und der salzigen Seen[1], und wenn das Salzwasser derselben über die Ufer tritt, sich dann in Niederungen sammelt, und durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen verdunstet wird, so schieſst das Salz in Krystallen an, wie namentlich bei einem Teiche in der Nähe der Capstadt der Fall ist, aus welchem eine Menge Salz jährlich gewonnen wird[2]. Auch durch die sandigen Ufer der Salzseen, z. B. des todten Meeres und der sibirischen Seen dringt eine Menge Salzwasser, verdunstet, und macht die Umgegend durch den Salzgehalt unfruchtbar, oder liefert zugleich eine Menge Salz zum ökonomischen Gebrauche[3]. Unter die Gegenden, welche oft auf weite Strecken durch hervordringendes Salzwasser unfruchtbar werden, gehören vorzüglich die Nordküsten Africa's und Aegyptens, desgleichen weite Streeken in Persien und Armenien, in Cabulistan, insbesondere die Niederungen um das caspische Meer und den See Aral, z. B. ein Theil der kirgisischen Steppe u. a. m.

Hauptsächliche Aufmerksamkeit verdienen aber die gröſseren und geringeren, zum Theil ganz ungeheuern *Lager von Steinsalz*. Dieses kommt zum Theil in groſsen Blöcken vor, und läſst sich aus denselben in groſse Würfel spalten. Es ist seltener ganz rein, wasserhell und fast durchsichtig, welches dann zerstoſsen ein Salz wie feines Mehl und schneeweiſs liefert, öfterer ist es grau bis zum schwärzlichen, röthlich, gelblich, bläulich auch grünlich. Das ganz wasserhelle liegt meistens als Kugeln, seltener als Würfel in dem gefärbten, meistens in gröſserer Tiefe. Beigemengt finden sich demselben nicht häufig vegetabilische Substanzen meistens im verkohlten Zustande. Das Steinsalz bildet Schichten und Bänke, bei denen sich aber kein regelmäſsiges Streichen und Fallen zeigt, indem sie bald mächtiger, bald geringer werden, sich unordentlich biegen und krümmen. Oft sind die Flötze von gröſserer Mächtigkeit, öfterer findet man bloſse Stöcke, welche mit Salzthon

1 S. *Meer; Seen.*
2 Lichtenstein Reisen. I. 556.
3 Ueber die Salzquellen. S. *Quellen.*

und Salzgyps wechseln, beide fast stete Begleiter des Steinsalzes. Die Hauptniederlage desselben scheint im Alpenkalke, theils zwischen diesem und dem bunten Sandsteine zu seyn, indem letzterer dann unten sehr thonig und mergelich wird. Aufserdem findet man dasselbe in partiellen Formationen gelagert, welche theils der Uebergangs- theils der jüngern Flötzzeit zugehören, und es ist dann mit Gyps, Stinkkalk, Salzthon u. a., oder auch mit Gerölle überdeckt, oder geht in seltenen Fällen selbst zu Tage aus[1]. Als solche Gegenden, in denen es vorzugsweise in grofsen Lagern vorkommt, können genannt werden die Stadt *Cardona* in Catalonien, 16 Lieues von Barcellona, woselbst sich ein zu Tage ausgehender Salzberg von etwa 300 F. Höhe befindet. Die Stadt selbst liegt 411 Meters über dem Spiegel des mittelländischen Meeres, und 138 Met. über dem Spiegel des kleinen Flusses Cardonnero, in welchen das vom Salzberge abfliefsende Regenwasser fällt, ohne dafs sein Wasser bedeutend hierdurch gesalzen würde. Die Auflösung des festen Steinsalzes durch das Regenwasser ist nämlich unbeträchtlich, weil es schnell von der Oberfläche abfliefst, weswegen auch das Volk den Berg für unzerstörbar hält, jedoch nimmt er nach Cordier jährlich etwa 4,7 F. an Höhe ab[2]. Die reichen und ausgebreiteten Salzquellen *Lothringen's* verdanken ihren Ursprung einem unermefslichen Salzlager[3], auch ist dasjenige sehr mächtig, welches neuerdings in und um *Wimpfen* am Neckar durch Bohrversuche aufgefunden wurde[4], ohne dafs jedoch bei beiden das Steinsalz selbst aus der Tiefe gefördert wird. Ausnehmend reich sind ferner die Salzgruben im *Salzburgischen*, am gröfsten, bekanntesten und merkwürdigsten aber sind die bei *Wiliczka* und *Bochnia*, aus denen ein grofser Theil von Polen und Schlesien mit seinem Salzbedarf versehen wird. Es wird von diesen schon seit dem Jahre 1237 geredet, und durch das beständige Ausbringen des Salzes sind daselbst künstliche Höhlen gebildet, welche zu den gröfsten in der Welt gehören. Die im Salze ausgehauenen, gröfsten-

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. II. 290.

2 Cordier in J. de Ph. LXXXII. 344. Vergl. Bakewell Einleitung in die Geologie, übers. v. Müller. S. 91.

3 J. de Ph. LXXXIX. 395. u. 473. G. LXIV. 145.

4 Vergl. G. LXIV. 219.

theils durch stehen gebliebene Säulen von Salz gestützten Gänge laufen auf 2000 Lachter von N. nach S. und 400 von O. nach W., sind so breit, daſs zwei Wagen neben einander fahren können, und an 40 F. hoch. Man findet mehrere Säle darin, und sollen diese sogar über einander sich befinden, indem das Ganze aus drei Stockwerken besteht, zu deren oberen man durch 30 Schachte und eine Windeltreppe, zu den beiden unteren aber durch Treppen, im Salze selbst gehauen, gelangt. Man findet dort mehrere Capellen mit Altären, Heiligenbildern, gewundenen Säulen, Kanzeln, Sitzen, Beichtstühlen, Leuchtern u. s. w., alles aus Steinsalz gehauen. Frisch ausgehauene Räume geben durch Lichtbrechung und Spiegelung ein Ansehen von Edelsteinen, bald aber werden die Gegenstände durch Lampenruſs von den vielen brennenden Fackeln überzogen. Dort sind unterirdische Magazine von Salz, von Heu und Stroh für Pferde, nebst Stallungen für 20 bis 30 derselben, indem die für die Arbeiten herabgelassenen nicht wieder heraufkommen, und sich wohl befinden, auſser daſs sie von dem blitzenden Lichte leicht erblinden. Die Arbeiter werden dreimal binnen 24 Stunden abgelöset, und arbeiten also jedesmal 8 Stunden; ihre Zahl wird im Ganzen auf 800, die der Officianten auf 60 angegeben. Es giebt verhältniſsmäſsig wenig Wasser dort, und man kann überall trocknen Fuſses gehen, dennoch giebt es aber einige Seen darin, und sogar eine Quelle süſsen Wassers. Gleich mächtig ist wohl das Salzflötz in *Siebenbürgen*, dessen Länge man zu 170 deut. Meil. bei einer Breite von 15 bis 20 M. berechnet. Die Grube zu *Kotosch* gab im Jahre 1772 jährlich 144000 Stein zu 80 bis 90 ℔., die zu *Torda* 145860 Stein. Man rechnet, daſs jene Gegend jährlich fast eine Million Ct. liefert, und eine halbe Million, welche in Stücken über die Halden geworfen werden[1].

In *Africa* ist das Salz an einigen Orten rar, an der Nordküste und in der Wüste dagegen werden die Brunnen leicht salzig und dieses deutet allerdings auf unbekannte Salzlager. In groſser Menge und einen wichtigen Handelsartikel bildend findet sich dasselbe aber unweit *Baylur* in *Habesch*[2], desgleichen an

1 Guettard in Mém. de l'Ac. 1762. 493. Lichtenb. Mag. I. 30. Journ. des Mines XXIII. 280. Vergl. I. Kant. physische Geographie. Hamb. 1817. II. 2. S. 129.

2 Bruce Travels. III. 111.

der Grenze der Sahara nach Tombuktu hin, u. a. a. O. *Asien* ist an einigen Orten vorzüglich reich an unerschöpflichen Salzlagern. Dahin gehören namentlich die Umgegenden des todten Meeres, wo viele felsenartige Salzmassen über die Erde hervorragen, welche zu der Sage von der Verwandlung von Lot's Frau in eine Salzsäule Veranlassung gegeben haben, und wird diese vermeintliche Säule daher von den Reisenden an verschiedene Orte gesetzt, je nachdem sich hier und dort solche Salzblöcke finden. Die Araber haben seit undenklichen Zeiten das Salz von dort weggeführt, ohne dafs eine Abnahme wahrgenommen wird. Am merkwürdigsten ist aber ein Salzberg, gröfser als der spanische, nahe bei der Stadt *Callubagh* am Indus. Dieser Flufs drängt sich dort durch Felsen, und gegenüber befindet sich der genannte Berg von Salz, an dessen Fufse ein Weg durch dieses Mineral gehauen ist, welcher sich an einigen Stellen gegen 100 F. über den Spiegel des Flusses erhebt. Das Salz ist hart, hell und fast rein, und würde wie Krystall aussehen, wenn es nicht an einigen Stellen roth gestreift wäre. Aus dem Salzfelsen brechen einige Quellen hervor, und überziehen den Boden mit einer blendend weifsen Kruste[1]. In *Peru* findet sich das Salz in einer Höhe von 9000 F. über der Meeresfläche, auch in Chili ist es in Menge vorhanden[2], und die Wüste zwischen Ametope und Coquimbo enthält nach Huanra hin eine reiche Steinsalzgrube. Ueberhaupt ist in Südamerica der östliche Theil arm, der westliche reich an Salz[3].

Die vielen sonstigen gewöhnlichen Salzlager und die zahlreichen Salzquellen müssen hier unerwähnt bleiben.

10. Viele Aufmerksamkeit haben von jeher die *fossilen Kohlen* erregt, welche man sehr allgemein und von verschiedenen Arten als Bestandtheile der Erdrinde antrifft. Man unterscheidet hauptsächlich

a. *Schwarzkohlen*, zu denen die Blätterkohle, Stangenkohle, Kannelkohle, Rufskohle, ein Theil der Pechkohle, Grobkohle und mineralische Holzkohle gehört.

---

1 Elphinstone Reise nach Cabul. d. Ueb. Th. I. S. 60.

2 Kotzebue Reis. III. 29.

3 Voyages dans l'Amérique méridionale par Don Felix de Azara. etc. Par. 1809. IV Tom. 8. Eschwege bei G. LIX. 126.

b. *Braunkohlen*, wozu man rechnet die Pechkohle, gemeine Braunkohle, Bastkohle, Moorkohle, Erdkohle und bitumineuses Holz. Beide genannte Arten gehen in einander über, und sind im Einzelnen oft schwer zu unterscheiden, hängen ausserdem mit einigen andern, nachher zu erwähnenden verbrennlichen Mineralien nahe zusammen. Einige Mineralogen rechnen zu den Steinkohlen (houille) bloss diejenigen, welche sich im Feuer aufblähen, zusammenbacken, mit einer russigen Flamme brennen, bei einem starken Luftzuge eine starke Hitze geben, entzündet aber im Strome des Löthrohres wieder verlöschen; unter Braunkohlen (lignites) aber solche, welche im Feuer reissen, sich an Umfang vermindern, eine helle Flamme aber weniger Hitze geben, und entzündet im Luftstrome des Blaserohres weiter brennen[1]. Man kann auch als chemische Bestimmung angeben, dass die Combustibilien dieser Art aus Bitumen, Kohle und erdigen Theilen bestehen. Ist die Kohle überwiegend, nur wenig Bitumen vorhanden und fehlen die erdigen Theile, so giebt dieses die Kohlenblende oder den *Anthracit;* wenn dagegen die Menge der erdigen Theile grösser ist, die der Kohle aber geringer, so ist es *bituminöser Schiefer;* reines Bitumen dagegen, mit wenig Kohle und erdigen Theilen liefert *Asphalt*. *Schwarzkohle* sowohl als auch *Braunkohle* bestehen aus Kohle und Bitumen mit unbedeutendem und ausserwesentlichem Antheile erdiger oder auch metallischer Stoffe, ein wesentlicher Unterschied des Qualitativen und Quantitativen ihrer Bestandtheile ist aber noch nicht nachgewiesen, sobald die letztere sich von bituminösem Holze völlig entfernt, also keine auffallend sichtbare Spuren ihres organischen Ursprunges mehr an sich trägt. Uebrigens finden sich die verschiedenen Arten beider an den nämlichen Orten, ja sogar an einzelnen Stücken zeigt sich ein Uebergang beider in einander. So beobachtete Hatchet unter den Braunkohlen von Bowey Theile kaum veränderter Pflanzen bis zur völligen Steinkohle[2], und Playfair besass ein Exemplar, woran die Holzstructur an einer Stelle noch völlig sichtbar, an einer andern aber die voll-

---

1 Nach L. Gmelin's mündlicher Mittheilung.

2 Vermuthlich würde das oben angegebene Kennzeichen den Unterschied wahrnehmbar gemacht, und gezeigt haben, dass alles bloss zur Classe der Braunkohlen gehörte.

endete glänzende und im Bruche fast glasige Kohle erschien. Es war von der Insel Sky, und lag unter Basalt[1].

Die Steinkohlen kommen der Regel nach in horizontalen Schichten von wenigen Zollen bis zu 6 Lachtern Mächtigkeit vor, deren an einigen Orten mehrere, sogar bis 50 oder 60 über einander liegen. Sie erscheinen in manchen Gesteinen als fremdartige Lager, und haben als eigenthümliches Steinkohlengebilde Schieferthon, Brandschiefer, Kohlensandstein, Thoneisenstein und Trümmergestein zu Begleitern. Das Steinkohlengebilde ruht theils auf Urgebirgen, theils auf Uebergangsfelsarten, und ist von Muschelkalk und Felsarten neuerer Formation bedeckt. Bei Sta-Fe-de-Bogota liegen sie in einem Thale 2200 Toisen über der Meeresfläche, bei Whitehaven dagegen gehen sie meilenweit unter das Meer, vielleicht bis 1000 F. unter dasselbe, wenn gleich Franklin's Angabe übertrieben seyn mag, dafs er das Meer 4000 F. über sich gehabt habe[2]. Ueberbleibsel und Abdrücke von Pflanzen und Thieren enthalten sie selbst nicht, wohl aber die sie einschliefsenden Gesteine. In den Braunkohlen dagegen findet man zahlreiche Reste von Pflanzen, welche in einigen sogar ihre ganze Structur beibehalten haben, ganze Baumstämme von 9 F. Länge, aus der Thierwelt aber kommen weit häufiger Land- und Süſswasserbewohner, als solche vor, welche dem Meere angehören. Auch die Braunkohlen finden sich in Schichten von einigen Zollen bis zu 6 oder 8 Fuſs und darüber auf jüngeren Felsarten als die Schwarzkohlen, und unbedeckt oder durch die jüngsten Gebilde überlagert. Beide, sowohl Schwarzkohlen als auch Braunkohlen haben sehr oft den Basalt zum Begleiter, z. B. beim Riesendamme in Irland, in der Auvergne, am Meisner im Hessischen, auf der Bolca bei Verona u. s. w.

Zu den Steinkohlen muſs auch der sogenannte *Surturbrand* gerechnet werden, welcher der Insel *Island* eigenthümlich ist. Am häufigsten und zuweilen ausschlieſsend wird derselbe nach Garlieb da gefunden, wo neptunische Bildung vorherrschend ist, und zwar der Beschreibung nach in drei verschiedenen Lagern, deren erstes 600 F. über dem Meere erhaben ist, das zweite 150 F., das dritte aber sich fast im Spiegel desselben

1 Journ. des Mines XVIII. 195. Breislak Inst. Géol. II. 239.

2 Bibliothek d. Reisen. XLIII. 183.

befindet. Zwischen ihnen sind Lager von verschiedenen, mitunter vulcanisch veränderten Steinen, doch sollen auch diese abgerundet und sichtbar durch Anschwemmung herbeigeführt seyn. HENDERSON[1] fand vier Lagen über einander durch Schichten von weichem Sandstein und Thon getrennt, und 1,5 bis 3 F. mächtig. Die beiden unteren sind rein von fremden Körpern, zeigen Holzknoten, Wurzeln und Kringe der verschütteten Bäume, welche letztere dicht neben einander liegen und von der aufruhenden Last platt gedrückt scheinen. Das dritte Lager ist von Eisen durchdrungen, sehr hart und schwer, aber weniger schwarz; das vierte ist eine mit vieler Erde gemischte Kohle. Die mittleren Lager enthalten *Gagat*, sind überhaupt am härtesten und einer guten Politur fähig. Zwischen der zweiten und dritten Lage ist eine etwa 4 Z. dicke blätterige Lage, welche sich oft zu Papieresdicke spalten läſst, und dann zeigen die Stücke auf beiden Seiten die schönsten Abdrücke von Blättern mit allen ihren Fasern und Rippen, aus denen man, so wie aus der Beschaffenheit der Stämme auf die Art des Holzes schlieſst, woraus der Surturbrand gebildet wurde, indem man darin die an den nordamericanischen Küsten einheimische populus tremula und takkamahaka zu erkennen glaubt. Der Ursprung dieser Steinkohle ist daher rücksichtlich der Substanz nicht zweifelhaft, jedoch ist nicht entschieden, ob sie aus Treibholz oder aus einheimischen Waldungen gebildet ist. Für die letztere Hypothese spricht der Umstand, daſs der Surturbrand nach HENDERSON sich allezeit an der andern Seite eines Hügels in gleicher Höhe findet, wenn er an der einen gelagert ist[2].

Der Ursprung der Steinkohlen ist im Allgemeinen nicht zweifelhaft, indem man aus unverkennbaren Zeichen wahrnimmt, daſs sie aus verschütteten Vegetabilien gebildet sind. Braunkohlen entstanden auſserdem aus Baumstämmen und Landpflanzen; ob sich dieses aber auch von den Schwarzkohlen behaupten läſst, ist nicht ausgemacht, indem einige Geognosten sie vielmehr aus Seepflanzen entstehen lassen, welcher Hypothese indeſs das Argument der Mächtigkeit der Kohlenlager entgegensteht, indem man nicht wohl begreift, auf welche Weise See-

---

1 Island. II. 110.

2 Vergl. Vargas Bedemar om vulcanske Producter fra Island. Kopenh. 1817.

pflanzen an einem Orte in solcher Menge aufgehäuft wurden. Holz dagegen lieferten die Urwälder in unermeſslicher Quantität, und noch jetzt wird es in solcher Menge als Treibholz auf der See getroffen und später im aufgeschwemmten Sande derselben begraben, daſs es den Lauf der Schiffe, insbesondere an den Mündungen der groſsen americanischen Ströme, hemmt. Durch welche Bedingungen dasselbe aber in Steinkohlen verwandelt wurde, ob dabei Hitze mitwirkte, und die gleichzeitig begrabenen thierischen Stoffe einen Einfluſs hatten, ist noch nicht ausgemacht.

12. Man findet ferner in gröſseren und geringeren Tiefen verschiedene Fossilien, welche nach überwiegenden Gründen aus zerstörten und umgewandelten organischen Stoffen entstanden sind, oder mindestens hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen, deren nähere Beschreibung aber in die Oryktognosie gehört [1]. Dahin sind zu rechnen a. der *Bernstein*, eine wahrscheinlich aus Baumharz entstandene Substanz, durchscheinend bis durchsichtig, welche häufig Insekten, selten kleine Fische einschlieſst, und am häufigsten an den östlichen Küsten der Ostsee, als einzelne kleinere Bruchstücke aber vielfach in allen Welttheilen gefunden wird. b. *Retinit* oder *Retinasphalt*, eine meistens braune, fettglänzende Masse. c. *Hatchetin*, eine weiche, talgartige, dem Bergöl verwandte Substanz. d. *Erdöl*, welches von der hellsten Naphtha bis zum dichflüssigsten Oele einen Uebergang zum Asphalte bildet, und in perennirenden Quellen meistens zugleich mit Wasser emporquillt [2]. e. *Asphalt* oder *Erdpech*, in gröſster Menge im todten Meere und sonst vielfach vorkommend, nebst dem ihm verwandten, in Khorassan sparsam vorhandenen, wohlriechenden *Bergbalsam* und dem *Munjak*, welches vom See in der Champechebay in Mexico ausgeworfen wird. f. *Elaterit* oder *fossiles Cautchouc* (Dapêche).

13. Die vielen Versteinerungen, überhaupt die zahlreichen und wunderbaren Ueberreste früher existirender organischer Geschöpfe, welche die Erdrinde einschlieſst, haben seit den ältesten Zeiten, insbesondere aber seit dem Anfange des vorigen

1 v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie. 2te Aufl. Heidelb. 1826. S. 791.

2 Vergl. *Quellen*.

Jahrhunderts die Aufmerksamkeit der Menschen erregt, und es mufs auch den Physiker die Frage interessiren, durch welche Naturkräfte und unter welchen physischen Veränderungen der Erde sie ihre jetzige Beschaffenheit erhalten und an den gegenwärtigen Ort ihrer Lagerung gekommen sind. Inzwischen würde eine auch nur kurze Behandlung dieses Gegenstandes hier zu viel Raum einnehmen, und erfordert daher einen besonderen Artikel[1].

VII. Aeufsere Gestalt der Erdoberfläche.

Die Oberfläche der Erde ist uns durch die vielen Reisen allmälig in einem hohen Grade genau bekannt geworden, mit Ausnahme ihrer beiden polarischen Zonen, indem es selbst noch unbekannt ist, ob unter den Polen Land oder Wasser befindlich sey. Man hat aus theoretischen Gründen Land daselbst angenommen, weil ungeheure Eismassen die Seefahrer bisher gehindert haben, bis unter die Pole zu dringen, und man voraussetzte, das freie Meer könne nicht gefrieren, mithin müsse unter den Polen Land seyn, an dessen Küsten dieses Eis erzeugt werde. Allein dieser Grund fällt weg, da die in den Polarmeeren bewandertsten Reisenden, namentlich der erfahrenste unter allen, Scoresby, das Gefrieren des offenen Meeres nicht in Zweifel stellen[2]. Ein anderer Grund, wonach unter dem Südpole sich ein grofses Continent befinden soll, nämlich um das Gleichgewicht beider Halbkugeln herzustellen und die gröfsere Ländermasse der nördlichen zu compensiren, ist noch weniger zulässig, weil es eines solchen Gleichgewichtes gar nicht bedarf[3]. Jüngsthin hat zwar Smith aus Blythe in Northumberland unter 62° 30′ S. B. und 60° W. L. von Greenwich Land entdeckt, Neu-Schottland genannt, wovon es noch fraglich ist, ob es der Anfang eines gröfseren Continentes oder blofs eine Inselgruppe sey, allein das Letztere ist bis jetzt am wahrscheinlichsten[4]. Ueberhaupt aber sind die Seefahrer noch nicht weit genug nach dem Südpole hin vorgedrungen, um über die dortige Beschaffenheit der Erde mit einiger Sicherheit urtheilen zu können[5], und die Versuche, dort weiter zu kommen, als bis-

1 S. *Versteinerung*.
2 Vergl. oben Th. III. S. 140.
3 Vergl. Buache in Mém. de l'Ac. 1757. p. 190.
4 Nouvel. Ann. des Voyages. 1823. Fev. p. 237.
5 Vergl. oben V. C. 8.

her gelungen ist, bieten im Verhältniſs des zu erwartenden glücklichen Erfolges so übermäſsige Schwierigkeiten dar, daſs das von SMITH schon im Jahre 1820 entdeckte Land rücksichtlich seines Umfanges noch nicht einmal hinlänglich untersucht ist. Die am weitesten nach dem Pole zu bekannten Inseln Peter I. und Alexander I., beide unter 69° 30′ S. B., welche BELLINGHAUSEN 1821 entdeckte, waren so von Eise umgeben, daſs er daselbst nicht landen konnte [1]. Eben so unfruchtbar und öde sind die südlichen Orcaden, welche Capt. WEDDEL 1821 unter 60° 45′ S. B. und 45° W. L. von Greenwich entdeckte, und sowohl damals, als auch in den beiden folgenden Jahren jene hohen südlichen Breitengegenden so lange untersuchte, daſs die Erwartung eines Continentes daselbst stets mehr verschwinden muſs [2].

Ungleich besser sind zwar die nördlichen Polargegenden bekannt, allein dennoch keineswegs so genau, als von den zahllosen aufgewandten Bemühungen und den vielen unter den härtesten klimatischen Einflüssen aufgeopferten Menschenleben kühner und beharrlicher Seefahrer billig zu erwarten wäre. Das Bestreben, einen kürzeren Weg von Europa nach Ostindien aufzufinden, als der höchst beschwerliche um das Vorgebirge der guten Hoffnung oder durch die Magellanische Meerenge ist, hat seit Jahrhunderten die seefahrenden Nationen beschäftigt, und dieser Gegenstand ist insbesondere seit 1818 mit ununterbrochenem Eifer von den Britten betrieben. Hierbei kam es hauptsächlich auf die Fragen an, ob das eigentliche Polarmeer unmittelbar unter dem Pole und den nächstliegenden etwa 10 Breitengraden nach allen Seiten hin frei von Eise sey, wie hauptsächlich BARRINGTON [3] behauptet hat, und auch andere aus den Nachrichten holländischer Grönlandsfahrer und früherer Reisenden schlieſsen wollten [4]; oder ob man aus der Hudsons- noch directer der Baffins-Bay durch ein die Nordküsten America's begrenzendes Meer in westlicher oder nordwestlicher Richtung

1 Brewster's Journ. II. 353.

2 Edinb. Phil. Journ. No. XXIII. 149.

3 The possibilities of approaching the North-Pole asserted by the Hon. D. BARRINGTON. A new ed. with an appendix by BEAUFOY. Lond. 1818.

4 A chronological history of voyages into the arctic regions cet. by J. BARROW. Lond. 1818.

die Behrings-Strafse erreichen könne; oder endlich ob von den obersten Küsten Norwegens aus oberhalb Nowaja-Semlia, oder auch zwischen dieser Insel und dem Continente hin das die Küsten Sibiriens bespühlende Meer den Schiffen eine freie Durchfahrt verstatte. Als Nebenfragen standen hiermit in Verbindung, ob die Küsten Sibiriens und Nordamerica's überall vom Meere bespühlt seyen, oder unbekannte Länder ganz oder nahe zum Pole hin sich erstreckten, desgleichen ob America und Asien durch die Behrings-Strafse völlig getrennt sind, oder diese Durchfahrt nur in einen grofsen Meerbusen führe.

Nach den Resultaten der bisherigen zahllosen Bemühungen werden wir schwerlich jemals zu einer völlig genauen Kenntnifs der nördlichen Polarzone gelangen, so sehr auch die Anstrengung in den jüngsten Zeiten gesteigert ist, und die vielfachen Mittel, diesen Zweck zu erreichen, vervollkommnet sind. Dasjenige aber, was bis jetzt als das Resultat der uneigennützigsten und angestrengtesten Bemühungen, insbesondere der Engländer und der Russen, als nahe völlig ausgemacht erscheint, kommt im Wesentlichen auf Folgendes hinaus.

1. Die Nordküsten Sibiriens sind zwar noch keineswegs genau astronomisch bestimmt, allein es ist wahrscheinlich, dafs sie im Allgemeinen so sind, als man sie auf den neuesten Charten angegeben findet, und dafs sie überall vom Meere bespühlt werden. Die noch gegenwärtig statt findenden durch das russische Gouvernement veranstalteten schwierigen Bemühungen, diese Küsten näher zu untersuchen, welche die gelehrte Welt mit dem gröfsten Danke anerkennen mufs, werden hierüber nähere Auskunft geben[1].

2. Noch weit weniger kennen wir die nördliche Küste America's. Manche ältere Angaben hierüber, namentlich MALDONADO's und BERNARDA's Reiseberichte, ersterer angeblich von 1588, letzterer von 1640 sind entschieden untergeschoben[2], dagegen bestätigen sich die wenigen Nachrichten von

---

1 Vergl. Revue Encyc. 1824. Oct.

2 Diese fabelhaften Reisebeschreibungen, welche dem spanischen Ministerio übergeben seyn sollen, wurden erst durch WALKENAER in seiner Biographie universelle und durch AMORETTI im Jahre 1812 bekannt gemacht. Vergl. v. LINDENAU in Mon. Cor. XXVI. 413. MALTE-BRUN Annales des Voy. Cah. 63. Neuerdings ist abermals ein Versuch gemacht, die Aechtheit des Reiseberichtes zu rechtfertigen.

Mackenzie und Hearne, insbesondere aber machen die mühsamen und gefährlichen Untersuchungen von Franklin und Parry es im höchsten Grade wahrscheinlich, dafs auch die Küsten des nördlichsten America's mit einigen unbestimmbaren Abänderungen diejenige Gestalt haben, welche auf den neuesten Landcharten abgebildet ist. Auf allen Fall läfst sich aus vielen Gründen, namentlich wegen einer mit der Ebbe und Fluth zusammenhängenden Strömung des Meeres bei der Insel Melville annehmen, dafs sie durch ein Meer bespühlt werden, welches ohne Unterbrechung vom sibirischen Polarmeere anfangend durch die Lancaster-Strafse mit der Baffinsbay, und somit, wahrscheinlich auch durch einen oder mehrere Ausgänge in die Hudsonsbay mit dem atlantischen Oceane zusammenhängt.

3. Wenn man einige Male im sibirischen Polarmeere Land angetroffen haben will, so bleibt es immer zweifelhaft, ob solche Beobachtungen des ewigen Eises jener Gegenden wegen überhaupt möglich waren. Inzwischen ist die Anwesenheit von Land in jenen Gegenden nicht unmöglich, es ist jedoch nicht wahrscheinlich, selbst wenn die neuerdings projectirte Reise von Spitzbergen aus bis unter den Nordpol wirklich zu Stande kommen sollte, dafs jemals wirklich ausgemittelt werden wird, ob dieses nur einzelne Inseln sind, oder die Küsten eines gröfseren Polar-Continentes.

4. Parry hat bei seinem Aufenthalte auf der Melville-Insel allerdings Spuren erhalten, welche es wahrscheinlich machen, dafs über jene Insel hinaus noch Land vorhanden ist, ob aber blofs Inseln oder ein Polar-Continent ist gar nicht mit Wahrscheinlichkeit bestimmbar.

5. Es ist zwar kaum zweifelhaft, dafs die Baffinsbay oben geschlossen sey. Wie weit aber das nördlichste Grönland sich erstrecke, nach welcher Richtung seine Küsten laufen, ob und in welchem Zusammenhange es mit einem möglichen eigentlichen Polar-Continente stehe, alles dieses bleibt vielleicht für immer unausgemacht[1].

---

1 Die wichtigsten Werke der hierher gehörigen weitläufigen Literatur sind aufser den schon erwähnten Werken von Barrington und Barrow noch: A chronological History of north-western voyages of discovery; by Cp. J. Burney. Lond. 1819. Mémoires et observations géographiques et critiques sur la situation des pays septentrionaux. Lausanne 1765. 4. Modern Voyages and Travels. Lond. 1819. Jons

Es kann hiernach also nicht mit Sicherheit bestimmt werden, wie viel von der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sey, oder Land ausmache, inzwischen entfernt man sich nicht weit von der Wahrheit, wenn man die Ausdehnung des ersteren zu $\frac{2}{3}$, des letzteren aber zu $\frac{1}{3}$ annimmt. Indem aber über das Meer, seine Gröfse, Gestalt, Tiefe und übrige Beschaffenheit, seine Küsten, den Meeresboden u. s. w. in einem besonderen Artikel[1] gehandelt wird, so beschränke ich mich hier auf einige Hauptcharaktere des Landes, soweit dieses der physischen Geographie zugehört[2]. Die ganze Oberfläche der Erde ist oben (Absch. III.) = 9260500 geogr. Quad. Meilen gefunden. Hiervon rechnet man in genäherten Werthen[3]

Für Europa	171834	Quad.	Meil.
— Asien	641093	—	—
— Africa	531638	—	—
— America	572110	—	—
— Neuholland	143000	—	—
— Alle Inseln	1000000	—	—
Zusammen	3059675	—	—

Nicht nach der Ländermasse, wohl aber rücksichtlich der trennenden Meere läfst sich die Erde als aus zwei Hälften bestehend ansehen, deren eine das sogenannte alte, die andere aber das neue Continent oder America ausmacht. Noch ungleicher ist

---

Ross Voyage of discovery. cet. Lond. 1819. Journal of a Voyage for the discovery of a north-west passage etc. performed under the orders of W. E. Parry. Lond. 1821. 4. (beide auch deutsch erscheinen). Journal of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage from the Atlantic to the Pacific; performed in the year 1824—5. Lond. 1826. 4. (Diese und Franklin's Reise sind so eben in einer Taschenausgabe erschienen). An account of the Arctic Regions cet. by W. Scoresby. 2 Vol. 8. Edinb. 1820 in der Einleitung. Kotzebue's Reise. III. 157. Burney in Phil. Trans. 1818. p. 9. Lapie in Nouvelles Annales des Voyages par Malte-Brun. XI. p. 1 ff. Quartely Review 1818. June p. 446 u. v. a. J. Lea in Silliman's American Journ. X. 138. u. v. a.

1 Vergl. *Meer.*

2 In der Darstellung folge ich im Allgemeinen dem classischen Werke von Carl Ritter die Erdkunde u. s. w. bis jetzt II Vol. 8. Einzelne Quellen sind besonders angegeben.

3 J. E. Bode Anleitung zur allgem. Kenntnifs der Erdkugel. §. 58.

indeſs die Vertheilung des Landes, wenn man den Aequator als Scheidungslinie zweier Erdhälften betrachtet, indem weniger als ein Drittheil der gesammten Ländermasse auf der südlichen Halbkugel liegt. Aus dieser Ursache laufen die groſsen Continente der nördlichen Halbkugel nach der südlichen hin in Spitzen aus, unter denen drei die gröſsten und einander sehr ähnlich sind, wie schon Baco[1] bemerkte, wenn auch übrigens das Land auf beiden Erdhälften durchaus regellos gestaltet, durch zahllose Buchten eingeschnitten und durch mannigfaltigst gekrümmte Ufer begrenzt ist.

Einer natürlichen Abtheilung folgend könnte man zwei Welttheile annehmen, deren jeder eine Hälfte der Erdkugel bedeckte, und beide durch eine schmale Meerenge, die Behringsstraſse geschieden wären, indem oft gesuchte gröſsere und auffallendere Harmonieen in der Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Auf der einen Halbkugel bildet *Africa* einen völlig begrenzten Theil, und hängt durch eine kurze Landstrecke mit Asien zusammen, welches letztere dagegen mit Europa ein einziges Ganzes bildet, indem die begrenzenden Gebirge, der Kaukasus und Ural, keine eigentliche Scheidung bilden. Auſserdem besteht Africa aus zwei groſsen, fast gleichen Hälften, dem südlichen Hochlande und dem nördlichen Flachlande; das Innere desselben ist gröſstentheils noch unbekannt. *Asien* ist im Ganzen bei weitem am groſsartigsten gestaltet. Ohngefähr in der Mitte desselben befindet sich ein ungeheures Hochland, von welchem aus die Gebirgsketten sich nach allen Seiten weithin erstrecken. Der westliche Theil bildet ein eben so ausgedehntes Flachland, der nördliche Abwechslungen von kleineren Hochlanden und Festlanden. *Europa* ist bloſs Flachland mit einem kleinen Hochlande in Spanien. Zugleich aber hat es ein zackiges Hochgebirge, die Alpen, von wo aus zahlreiche Aeste nach allen Seiten in das Flachland auslaufen. *America* hat in jeder seiner beiden, durch eine schmale Landenge, getrennter, Hälften ein groſses Hochland, Quito und Mexico, und ist durch die längste Gebirgskette der Erde, welche beide Hälften desselben verbindet, durchschnitten.

Die längste gerade Linie im alten Continente beginnt beim Cap Tamura unter 78° N. B., geht am Aral-See hin, durchschneidet die Persischen und Arabischen Meerbusen an schmalen

1 Nov. Org. II. 27.

Stellen und endigt bei der Capstadt unter 35° S. B. Ihre Länge beträgt etwa 1800 Meilen. Die längste Linie im neuen Continente läſst sich nicht so genau bestimmen, müſste aber vom Eis-Cap, etwa unter 72° N. B. anfangen, America schräg durchschneiden und gleichfalls unter 35° S. B. endigen.

Im Allgemeinen unterscheidet man ferner *Festland* (Continent) und *Inseln.* Der Begriff der letzteren ist unbestimmt, hängt aber von der Gröſse ab, indem die Bedingung einer völligen Umgebung mit Wasser leicht dahin führen könnte, auf der ganzen Erde nichts als Inseln anzunehmen. Uebrigens will man unter Insel einen solchen Ländertheil verstehen, welcher in weniger als einem Monate umschifft werden kann, oder weniger als 10 Grade der Breite und der Länge miſst.

Im Ganzen besteht die Erdoberfläche aus Bergen mit den ihnen zugehörigen Thälern und aus Ebenen, welche Hochebenen genannt werden, wenn sie in bedeutender Höhe über der Meeresfläche liegen, sonst aber Flachebenen heiſsen könnten.

A. Berge.

Berge heiſsen die Erhabenheiten der Erdrinde, deren oberer Theil der Gipfel (bei groſser Steilheit auch Nadel, Horn), der untere aber der Fuſs genannt wird; zwischen beiden liegt der Abhang, einzelne Erhöhungen der Gebirge und Ebenen heiſsen auch Kuppen. Mehrere an einander gereihete Berge bilden ein Gebirge, und wenn sich darunter einer oder mehrere von bedeutender Höhe befinden, ein Hochgebirge. Mehrere fortlaufende heiſsen eine Gebirgskette, und sofern sie von einem Haupt- oder Hochgebirge auslaufen, Gebirgszweige, Arme, oder Aeste, deren oberer Theil Gebirgsrücken genannt wird. Rücksichtlich der Länge unterscheidet man Hauptgebirge von etwa 30, Mittelgebirge von etwa 20 und kleine Gebirge von etwa 10 Meilen Längenerstreckung, und eben so rücksichtlich der Höhe Haupt- oder Hoch- auch hohe Gebirge von mehr als 6000, mittlere von mehr als 3000 und niedere von mehr als 600 F. Höhe, die noch niedrigern werden zwar oft Berge genannt, verdienen aber nur den Namen Hügel. Einzeln stehende Berge sind selten; am meisten findet man sie auf Inseln als vulcanische Pics, z. B. der Pico di Teneriffa, der Aetna u. a. Sonst gehören unter die bekanntesten der Felsen von Gibraltar, der Puy-de-Dome und mehrere in der Auvergne, der Berg

Aornos in Bijore in Indien, die Festung Gwalior in Hindostan, der Zobtenberg in Schlesien, die Landskrone in der Lausitz u. m. a. Meistens laufen dagegen die Gebirgsketten durch unglaublich lange Strecken von den Hauptgebirgen aus, erstrecken sich oft weit in das Meer, wo sie durch einzelne Felsen und Inseln ihre Richtung bezeichnen, und es wäre wohl nicht unmöglich, einen Zusammenhang aller auf der Erde nachzuweisen. Aeltere Geographen[1], welche die Felsenzüge gleichsam als das Gerippe der Erde ansahen, wollten in denselben einen Bergäquator und Parallele finden, welche indeſs nicht mit dem geographischen Aequator parallel, sondern eine nördlichere Richtung befolgend mit ihm einen beträchtlichen, nicht genau bestimmten Winkel bilden sollten[2]. Nach andern sollten sich zwei mit dem Aequator nahe parallel laufende Bergketten, eine unter 50° N. B. die andere unter 25° S. B. befinden[3]. Buffon[4] läſst die Bergketten von Norden nach Süden laufen, welche Richtungen von andern die Bergmeridiane genannt werden. Indeſs muſs man mit Pallas und den neueren Geographen annehmen, daſs die Richtung der Bergketten überall kein regelmäſsiges Gesetz befolgt[5].

Zu den hauptsächlichsten *asiatischen Gebirgsketten* gehören das Ural - in seiner Fortsetzung Wercholur - oder Paiassowoi-Pawdinskoi-Gebirge, welches nicht weit vom Caspischen Meere unter 45° N. B. anfängt, und mit seinen letzten Spitzen unter oft wechselnden Namen sich in das Eismeer verläuft. Es bildet die Grenzscheidung zwischen Europa und Asien. An dieses schlieſst sich der Kaukasus und südlicher herabgehend der Mingol und Ararat. Der Taurus und Antitaurus fängt im ehemaligen Kleinasien an, hängt mit dem Libanon zusammen, welcher der Küste des Mittelländischen Meeres parallel läuft und an die in der Richtung des rothen Meeres in Arabien sich herabziehende Gebirgskette grenzt. Eine dieser fast parallele Gebirgskette geht zum Persischen Meerbusen herab und hat den Namen

1 Unter die Vertheidiger dieser Ansichten gehört vorzüglich Bourguet in: Lettres philos. sur la formation des sels et des cristaux. Amst. 1729. 8. p. 183.

2 J. C. Gatterer Abriſs der Geographie. Gött. 1775. S. 91.

3 J. de Phys. 1779. Leipz. Samml. II. 2.

4 Hist. Nat. II. 17. Mehr beschränkt ist diese Meinung in Suppl. IX. 440.

5 Kant Phys. Geogr. II. 2. S. 17.

Erwend und Daarnewend. Bei weitem die längste Gebirgskette ist diejenige, deren Haupttheil der Altai ausmacht, weswegen sie auch die Altai'sche genannt wird. Sie läuft etwa im Parallel von 50° N. B., hängt durch die Alginskischen und die grofsen Songarischen Grenzgebirge mit dem Ural zusammen, erreicht ihren höchsten Punct im grofsen Altai, und schliefst sich durch das Khangai-Gebirge an das Jablonoy-Chrebet oder Aepfelgebirge, welches unter dem Namen Stanowoy sich bis zur nördlichsten Küste Sibiriens erstreckt. Eine andere Gebirgskette läuft in der Gegend des Baikal-Sees von diesem aus durch Sibirien bis zum Eismeere; aus dem Stanowoy-Gebirge aber läuft eine Kette durch Kamtschatka, deren weitere Richtung durch die Kurilischen und Japanischen Inseln bezeichnet wird.

Eine zweite Asiatische Hauptgebirgskette, mit der Altai'schen parallel unter 35° N. B. erreicht ihren höchsten Punct so wie jene ohngefähr in 100° L. unter dem Namen Mustag- oder Imaus-Gebirge. Von ihm läuft eine Kette in vielen Krümmungen nördlich unter dem Namen Karangu-Tag, Belur-Tag[1], Mussart und Chabarga bis zum Altai-Gebirge. Eine andere Kette läuft westlich durch Persien zum Kaukasus hin unter dem Namen Hindukuh oder Hindu-Cusch, Gaur, Manesch, Madnofriad und Alburs. Vom Hindukuh läuft ein Arm, gewöhnlich die Salomonskette genannt, mit dem Indus fast parallel bis an den Persischen Meerbusen[2]. Von der Ostseite des Imaus laufen zahlreiche Gebirgsketten von Tibet aus zum Theil nach Süden, deren eine bis Malacca und von da durch Sumatra, Java und den Indischen Archipelagus verfolgt werden kann. Eine läuft durch Tibet bis Cochin-China, zwei andere durch China östlich; der gröfste Zweig geht nordwestlich, wirft dann einen Nebenzweig theils nördlich bis zum Aepfelgebirge, theils östlich bis nahe zum Japanischen Meere, woselbst er als Tschang-Pechan-Gebirge südlich an der Küste von Korea und nördlich an der Küste von Amur hinläuft. Diejenige Asiatische Gebirgs-

1 Belur-Tag oder Belut-Tag bezeichnet wolkige Berge.

2 Die Existenz der Salomons-Kette wird von einigen Geographen in Zweifel gezogen. Nach Elphinstone's Reis. I. 148. schickt sie 3 Zweige nach Osten unter 32° und 34° N. B., und 2 streichen über den Indus. Die Berge derselben sollen niedriger als der Hindu-Kuh, aber doch das ganze Jahr mit Schnee bedeckt seyn.

kette, welche zwar nicht die gröfste Ausdehnung, wohl aber die höchsten Bergspitzen auf der ganzen Erde hat, ist das Himlaya-Gebirge, welches mit dem Imaus fast parallel läuft, und durch die Flüsse Indus und Tsampu davon getrennt wird. Seine östliche Spitze bildet das Kambala, die westliche das Kantaische Gebirge, einen Hauptzweig aber sendet es in vielen Krümmungen südlich, welcher mit dem Yind-Huan in Hindoustan und dem Gautsch an der Malabarischen Küste zusammenhängt. Das riesenhafte Gebirge giebt unter andern den Riesenströmen Ganges und Buramputr ihren Ursprung[1].

Africa ist uns noch zu wenig bekannt, als dafs wir seine Gebirgszüge genau kennen könnten. Etwas näher kennt man die Mondsgebirge unter 10° N. B., von welchen mehrere Aeste nach den verschiedensten Seiten sich hin erstrecken. Eine andere, gleichfalls unter 10° N. B. von Ost nach West laufende Gebirgskette will Mungo-Park gesehen haben, und neuere Reisende bestätigen dieses. An der südlichen Spitze dieses Welttheils, nahe bei der Cap-Stadt fängt eine von der Küste aus nördlich laufende Bergkette an, welche mehrere Zweige in das Innere des Landes sendet. Die Insel Madagascar wird der Länge nach durch das Ambohitsmene oder Vohitsanghombe (oder das rothe) Gebirge durchschnitten. Am bekanntesten endlich ist das im nordwestlichen Theile von Osten nach Westen hinlaufende Atlas-Gebirge, welches in seinen Hauptpuncten Lowat und Nefusa genannt verschiedene Zweige aussendet.

1 Interessante Nachrichten über jene Gegenden enthält die von Ritter benutzte: Elphinstone's Geschichte der englischen Gesandtschaft an den Hof von Kabul; üb. v. Rühs in Neue Bibl. d. Reis. B. IX. Weim. 1817. Man ersicht daraus, dafs die unübersteiglichen Berge und die nachher zu erwähnenden Sandwüsten einzelnen Reisenden das Vordringen nach Indien höchst gefährlich, ganzen Corps, geschweige denn Armeen durchaus unmöglich machen. Man sieht von Afghanistan aus 4 Reihen Berge von unglaublicher Höhe, deren höchste Spitzen in mehr als 100 engl. Meilen sichtbar sind. Bei heiterem Himmel gewähren ihre gleichsam durchscheinend sich zeigenden Spitzen einen imposanten Anblick. Die dazu gehörige Paropamisus-Kette ist 350 engl. Meilen von Osten nach Westen und 200 e. M. von Norden nach Süden ausgedehnt, für Reisende fast unzugänglich, wird aber von den Eimakern und Hasarern bewohnt. Ueber die Himlaya-Gebirge vergl. G. Govan in Edinb. Journ. of Sc. III. 17. IV. 27. Ueber den Zusammenhang der Berge in Asien vergl. v. Humboldt in Ann. Ch. Ph. III. 297.

Die *Europäischen Gebirgsketten* sind gröfstentheils unbedeutend gegen die weit gröfseren Asiatischen, haben aber als die bekanntesten ein höheres Interesse. Unter die wichtigsten gehören die Pyrenaeen, welche die Grenze zwischen Spanien und Frankreich bilden, und an die unter verschiedenen Namen in westlicher Richtung mit der Küste parallel bis zum Cap Finisterre laufenden Gebirge grenzen. An diese letztere Gebirgskette stöfst eine andere, welche in südlicher Richtung die Pyrenäische Halbinsel durchschneidet, wozu vorzüglich die Iberischen Gebirge und die von Granada gehören. Mehrere Zweige laufen von hieraus westlich nach der Küste hin. Im südlichen Frankreich beginnt eine Bergkette mit den Cevennen, läuft nördlich, schickt einen Nebenzweig nordwestlich, welcher die Flufsgebiete der Seine und Loire trennt, bis an die Küste von Brest; eine andere mehr nördlich zwischen Marne und Maas nach den Ardennen.

Als den höchsten Europäischen Gebirgspunct hat man die Alpen anzusehen, von welchen eine Menge Zweige nach allen Richtungen auslaufen. Vom Montblanc über den kleinen Bernhard und Mont-Cenis erstrecken sich die Meeralpen südwestlich, und verlaufen sich in den Bergen hinter Marseille. An diese stofsen die Appenninen, welche Italien der Länge nach durchschneiden und von Sicilien's Bergen durch die Meerenge getrennt werden. Eine gleich grofse Gebirgskette läuft vom Gotthard aus, begreift die Rhätischen, Tyroler, Karnischen, und Julischen Alpen, zieht sich unter dem Namen der Dinarischen Alpen an der Küste des Adriatischen Meeres hin, und schickt einen Arm nach Griechenland, einen andern gröfseren aber in östlicher Richtung unter dem Namen der Sardisohen Berge. Mit den Schweizeralpen zusammenhängend sind ferner die Gebirge des Schwarzwaldes, welche an die Schwäbischen Alpen und hierdurch an den Böhmerwald grenzen, mit Unterbrechungen sich bis zum Fichtelgebirge, und so bis zu den Harzgebirgen und deren Verzweigungen erstrecken. Nördlich vom Schwarzwalde liegt das Odenwaldsgebirge, neben dem Fichtelgebirge das Rhön- und Vogels-Gebirge, am rechten Ufer des Rheins die Rheingauer und Nassauischen Gebirge, der Westerwald und das Siebengebirge, von welchen Verzweigungen bis zu den Harzgebirgen verfolgt werden können. An das Fichtelgebirge grenzt das sächsische Erzgebirge, welches wie-

der mit den Böhmischen Gebirgen und den Sudeten zusammenhängt. Letztere, welche die Grenze zwischen Böhmen und Schlesien bilden, schliefsen sich an die Carpathen, deren äufserstes Ende unter dem Namen des Sarmatischen oder des Tartargebirges die nördliche Grenze des östlichsten Ungarns bildet. Im östlichsten Theile von Europa aus einer weiten Ebene nicht bedeutend hervorragend, liegt das Wolchonskoi-Gebirge, welches sich nach verschiedenen Seiten hin zwischen dem Don, der Wolga und dem Dniepr verzweigt. Grofsbrittannien wird der Länge nach von einer gekrümmten, verschiedene Zweige aussendenden Gebirgskette durchschnitten, welche aber keine so hohe Puncte darbietet, als diejenige, welche Scandinavien durchschneidet, und in ihrem Hauptzuge unter dem Namen des Kölen- oder Sewoo-Gebirges die Grenze zwischen Norwegen und Schweden bildet[1].

America[2] wird seiner ganzen Länge nach von einer Bergkette durchzogen, welche nahe am Meere an der westlichen Küste desselben hinläuft, und die beiden Hälften dieses grofsen Continentes verbindet. Im südlichen Theile machen die Gebirge den vierten Theil der gesammten Ländermasse aus, und bilden eine Gebirgskette, die Andes-Cordilleren, welche an der Magellanischen Strafse bei Cap Pilares anfängt, bis zum Vorgebirge Paria, der Insel Trinidad gegenüber hinläuft, und drei Gruppen, nämlich die der Sierra Nevada de Santa Maria, die des Orinoco oder Parime und die in Brasilien bildet. Der ganze östliche Theil von America hat keine Gebirge, welche die Schneegrenze erreichen, obgleich die hohen Cordilleren an der östlichen Seite dieses ganzen Continentes hinlaufen, die Landenge zwischen den beiden Hälften des Welttheiles bilden, und sich bis zum 68sten Grade N. B. erstrecken, indem zugleich der Berggruppe in Brasilien eine ähnliche in der nördlichen Hälfte des Welttheils, nämlich das Alleghanni-Gebirge entspricht, dessen höchster Punct der Berg Washington unter 44°,25 N. B. von 6634 engl. F. Höhe ist. Berge also, welche

1 Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen von Fr. Schultz. Weimar 1803. 4. mit einer schönen orographischen Charte von Europa. Vergl. Einleitung in die allgemeine Erdkunde von Fr. Förster. Berl. 1818. 4.

2 S. v. Humboldt Voy. T. X. p. 1 bis 177, wo ausführlich über die Gebirge America's gehandelt wird. Vergl. Reisen III. 263.

den Montblanc an Höhe übertreffen, finden sich in America nur in der Andes-Kette, welche auch in Mexico unter 19° N. B. eine Höhe von 2770 Tois. erreicht. Die einzige Berggruppe, deren Spitzen fast 3000 T. erreichen, ist die Sierra de Santa-Marta, welche indefs nicht östlich von der Cordilleren-Kette liegt, sondern zwischen der Verlängerung von zwei Armen derselben, des von Merida und von Veragua.

1. Vor allen Dingen zeichnen sich also die Cordilleren aus. Sie haben eine Länge von nahe 3000 Lieues, und bestehen aus mehreren verbundenen Ketten, welche sich bald mehr bald weniger erheben, nahe am Aequator aber ihre gröfste Höhe erreichen. Beim Cap Pilares fängt dieser Gebirgszug mit einer Höhe von 218 T. an, läuft dann in verschiedenen Biegungen und bei noch unbestimmter, aber nicht unbeträchtlicher Höhe etwa bis zum achten Grade S. B. fort, woselbst der Huaylillas die Schneegrenze erreicht, und dann kein Berg früher bis zum Chimboraço unter 2° S. B. Von hier aus enthält er die höchsten Berggipfel, theilt sich zuweilen in zwei oder auch drei Ketten welche Plateaux zwischen sich haben, schickt verschiedene Zweige nach Osten, senkt sich vor seinem Eintritte in die Landenge, erhebt sich aber daselbst wieder, läuft durch dieselbe hin, und erreicht im Parallele von Mexico abermals seine gröfste Höhe. Von hieraus läuft er nach Guanaxato unter 21° N. B. wo die reichsten Silberbergwerke der Erde sind, erhält eine aufserordentliche Breite und theilt sich in drei Ketten, welche sich unter 30° N. B. wieder vereinigen. Vom 33sten Breitengrade an bildet der Rio del Norte ein grofses Längenthal, und überhaupt scheint selbst die Centralkette in mehrere parallele Streifen getheilt zu seyn, läuft auf diese Weise mit einigen in die Schneegrenze ragenden Spitzen von 10000 bis 11200 F. absoluter Höhe bis zum 41sten Grade, nimmt an Höhe ab bis zum 46sten Grade, erhebt sich unter 48° wieder mit Spitzen von 7200 bis 7800 F., nimmt eine östlicher Richtung gegen den oberen See hin zwischen dem Bette des Missouri und des Winnipeg- und Sclaven-Sees, und gelangt in dieser Richtung unter etwa 69° N. B. an die Mündung des Mackenzie-Flusses. Dafs endlich die ganze, so weit ausgedehnte Kette neben ihrem allgemeinen Namen aus den zahlreichsten einzeln benannten Bergen und Bergzügen bestehe, liegt in der Natur der Sache.

2. Ausserdem enthält America noch eine Menge einzelner Berggruppen, wovon die bedeutendsten folgende sind:

a. Die isolirte Berggruppe Sierra Nevada de Santa Marta liegt eingeschlossen zwischen zwei Armen der Andes, dem von Bogota und dem des Isthmus, erhebt sich steil aus der Ebene und ist an ihren Spitzen mit ewigem Schnee bedeckt.

b. Die Küstenbergkette von Venezuela, welche als unmittelbarer Zweig von den Cordilleren nahe am Ufer des Meeres der Antillen unter verschiedenen Benennungen hinläuft. Sie theilt sich in zwei Arme, einen nördlichern und einen südlichern, welche weite Thäler von ungleicher Höhe zwischen sich einschliefsen, und zum Theil die ausgedehnten Llanos begrenzen.

c. Die Berggruppe von Parime, Sierra Parime vom See gleiches Namens durch v. Humboldt genannt, trennt zum Theil die Stromgebiete des Orinoco und Amazonenstromes, besteht aus mehreren zusammengruppirten Bergreihen, welche nach allen Richtungen hinlaufen, und worin der Pic d'Uniana von mehr als 3000 F. der höchste Punct ist.

d. Ohngefähr zwischen dem 18 und 28 Grade S. B. liegt der gröfste, über 400 T. Höhe erreichende Centralpunct der Brasilianischen Berggruppe, welche in mehreren Verzweigungen sich nach allen Seiten hin ausbreitet, und wozu unter andern die Serra do Mar, südwestlich von Rio Janeiro, die Serra do Espinhaço bei Villaricca, die gröfste und höchste von allen, die Serra dos Vertentes, die Serra do Franca u. a. gehören. Den höchsten Punct macht der Itacolumi von 900 T. Höhe.

e. In Nordamerica[1] bilden die Alleghanni - Gebirge eine bedeutende Berggruppe, worin der Washington mit 1040 Tois. den höchsten Punct macht.

f. Auch die Berge der Antillen bilden eine eigene Gruppe, worin die blauen Berge unter 18° 12′ N. B. 1138 Tois. hoch, die gröfste Höhe erreichen.

Neuholland enthält eine sehr grofse Gebirgskette, die sogenannten blauen Berge, welche sich durch verschiedene in physikalischer Hinsicht merkwürdige Eigenthümlichkeiten auszeichnen; sie setzen indefs dem Reisenden wahrhaft unüber-

1 Der nördlichere Theil des neuen Continentes ist noch zu wenig untersucht, als dafs der Zusammenhang seiner Bergketten hinlänglich bekannt seyn sollte.

windliche Schwierigkeiten entgegen, weswegen unter verschiedenen Versuchen, etwas tiefer in dieselben einzudringen, bloſs die letzteren einige etwas genügende Resultate gegeben haben[1].

Eine eigene Classe von Bergen, welche durch ihre eigenthümliche Gestalt und einerseits sowohl ihre Isolirung als andererseits ihren Zusammenhang unter einander vorzügliche Aufmerksamkeit verdienen, sind die vulcanischen. Da sie aber eine umfangendere Untersuchung verdienen, so müssen sie ausführlicher betrachtet werden, als hier der Raum gestattet[2].

Man hat viele Zeit und Mühe darauf verwandt, die Höhen der Berge und insbesondere ihre höchsten Spitzen kennen zu lernen. Im Ganzen genommen gehört dieser Gegenstand zu der Aufgabe, bei der Bestimmung der Lage irgend eines gegebenen Punctes der Erdoberfläche die dritte Coordinate zu finden, indem die beiden anderen nach dem was oben (II. im Anf.) hierüber beigebracht ist, durch die bekannte Länge und Breite desselben gegeben sind, und wobei man diese dritte im Spiegel des Meeres $=0$ setzt. Am häufigsten wird die Höhe über dem Meeresspiegel durch barometrisches Höhenmessen gefunden. Indem aber dieses interressante physikalische Problem an seinem Orte vollständig untersucht nnd mit andern Bestimmungsmethoden verglichen werden wird, so ist es am zweckmäſsigsten, die gefundenen Resultate dort hinzuzufügen[3].

B. Thäler

werden die tiefer liegenden Räume genannt, welche die Berge trennen, und in gerader oder gekrümmter Richtung zwischen zwei Bergen oder Bergketten in gröſserer oder geringerer Länge hinlaufen. Selten sind sie horizontal, wenn sie zwei Berge völlig trennen, oder wenn man uneigentlich die nächste Ebene unter einem Berge mit dem Namen Thal bezeichnet, in der Regel aber liegen sie am einen Ende höher, indem sie an einem Gebirgsabhange ihren Anfang nehmen, dort meistens schmaler sind, und sich dann entweder in ein anderes Thal oder endlich in die Ebene verlaufen. Der tiefste Theil derselben, oder ihr Grund

1 Vergl. J. d. Ph. LXVII. 464.

2 S. *Vulcane*. Ebend. von den Schlammvulcanen und den Gas-Vulcanen oder sogenannten Salsen.

3 S. *Höhe nmessen*.

heiſst die *Thalsohle*, der *Thalweg*, wodurch man meistens zu den gröſseren Höhen der Gebirge gelangt. Sonst unterscheidet man *Längenthäler*, welche mit der Richtung der Gebirge parallel laufen, und *Querthäler*, welche diese unter fast rechten Winkeln durchschneiden, *Hauptthäler*, welche von dem hohen Gebirgsrücken bis an den Fuſs herablaufen, und *Nebenthäler*, welche nur einem Zweige des Gebirges zugehören. Die Ausdrücke: *Fluſsthäler*, *Stromthäler* und *Meeresthäler* sind an sich klar.

Die Thäler steigen so viel höher an und sind überhaupt desto groſsartiger, je höher und gröſser die Gebirge sind, wozu sie gehören, zugleich aber hat v. HUMBOLDT[1] bemerkt, daſs die Längenthäler ungleich höher liegen als die Querthäler. So erhebt sich die Thalsohle des Thales von Cuença bis zu 1350 T., von Alausi und Hambato bis 1320 T., das Thal von Quito an seinem östlichen Theile bis 1340, an seinem westlichen bis 1490 T. das Bassin des Almaguer bis 1160 T., des Rio Cauca bis 500 T. Auf gleiche Weise ist es im alten Continente, wo das Plateau von Mysore zwischen 380 bis 420 T., das im Innern von Spanien 350 T., das zwischen den Alpen und dem Jura 270 T., das Baiersche 260 und das Schwäbische 150 T. erreicht. Die ungleiche Höhe der Längenthäler vor derjenigen der Querthäler ersieht man unter andern aus der Vergleichung derjenigen, welche sich in den Anden finden, wo die ersteren 1200 bis 1500 T. erreichen, während das von NO. nach SW. gerichtete Thal von Patias, obgleich zwischen sehr hohen Bergspitzen nicht mehr als 350 T. absoluter Höhe hat. Aus den Ebenen der Lombardei kann man in einer auf die Längenrichtung der Tyroler Alpen lothrechten Linie 8,75 Meilen vordringen, und findet bei Botzen die Höhe der Etsch nur 182 T., dagegen erhebt man sich von Botzen zur Spitze des Brenner's auf eine Strecke von 4,71 Meil. bis 746 T.[2].

Meistentheils sind die Thäler durch Wegspülungen und allmäliges Einreiſsen des Wassers entstanden, oder scheinen dieser viele Tausende von Jahren anhaltenden Einwirkung ihren Ursprung zu verdanken. Hierfür spricht die Gestalt derselben, desgleichen daſs, in den meisten stets flieſsende oder minde-

1 Voy. X. 86.

2 v. Humboldt Voy. X. 84.

stens bei heftigem Regen sich ansammelnde Gewässer ihren Lauf haben, wobei dann die Gestalt der Ufer und oftmals selbst erneuerte Spuren frischer Zerreifsungen die Sache im Allgemeinen genugsam beweisen. Woher könnten auch die Flüsse und Ströme die unglaubliche Menge Sand und Kies erhalten, welche sie stets in der Richtung ihres Laufes fortführen, wenn sie ihnen nicht von den zerfallenen Felsarten dargeboten würde, durch welche sie fliefsen? Wollte man aber alle Vertiefungen zwischen den Bergen aus dieser Ursache ableiten, welcher vorzugsweise nur die Querthäler ihren Ursprung verdanken, so könnte dieses namentlich auf die völlig eingeschlossenen Thäler, z. B. von Titicaca, Mexico, Cuença und viele andere, nicht angewandt werden, welche das gesammelte Wasser nur durch enge Seitenabflüsse verlieren, und die gröfsten Geologen sind daher der Meinung, dafs hauptsächlich die Längenthäler und die zwischen hohen Bergen eingeschlossenen damals schon als Spalten und Vertiefungen zurückblieben, als die umgebenden Erhöhungen aus der Tiefe emporgehoben wurden[1].

C. Ebenen.

Die Ebenen sind entweder von Bergen und Hügeln durchschnitten und daher geringer an Flächenausdehnung, in welchem Falle sie sich eignen, die reizenden Landschaften der Erdoberfläche zu bilden, oder sie erstrecken sich weit, sind aber fruchtbar und deswegen stark mit Cerealien angebauet, in welchem Falle sie zu den reichsten und keineswegs unangenehmen Theilen der Länder gehören, oder sie bieten durch hohes Gras reiche Viehweiden dar, geben minderen Ertrag als jene, und werden ermüdend für das Auge der Reisenden und der Bewohner. Noch mehr aber ist Letzteres der Fall, wenn sie mit unfruchtbaren Heidearten überzogen oder gar mit Sand und Kies bedeckt sind, in welchem Falle sie durch übermäfsige Ausdehnung, brennende Hitze und Mangel an Nahrung und Wasser zu den furchtbarsten Einöden werden, welche für die Reisenden eben so undurchdringlich sind als die höchsten und längsten Gebirgsketten, und noch obendrein durch endlose Einförmigkeit Geist und Phantasie tödten. Kleinere Districte dieser

---

1 L. v. Buch Geognostisches Gemälde von Süd-Tyrol. 1823. S. 8. v. Humboldt Voy. X. 87.

verschiedenen Arten giebt es viele, es können hier aber nur die ausgezeichnetsten kurz erwähnt werden.

1. Die *Llanos* oder Ebenen in der Mancha in Spanien. Sie gleichen denen in America, und bieten gute Viehweiden dar.

2. Die *Heiden* (ericeta, von den vielen dort wachsenden Heidearten, hauptsächlich der erica vulgaris so genannt), welche sich von der Grenze Jütland's durch Lüneburg und Westphalen bis in die Niederlande erstrecken, am zusammenhängendsten zwischen Oldenburg und Osnabrück. Verhältnifsmäſsig sind nur geringe Theile davon urbar gemacht, welche einen sandigen, unfruchtbaren Boden liefern. Einige Strecken sind mit Kieferwäldern bedeckt, andere haben moorigen Boden, welcher zum Theil Torf erzeugt, zum Theil durch das Wegbrennen der oberen, mit unfruchtbaren Pflanzen bedeckten, Kruste (das sogenannte Moorbrennen[1]) zur Erzeugung von Buchweizen geschickt gemacht wird.

3. Die grofsen, theils trocknen theils noch sumpfigen, *Viehweiden* in Ungarn zwischen der Donau und Theifs, welche sich durch die in ihnen beobachtete Luftspiegelung auszeichnen. Sie liegen 30 bis 40 Tois. über dem mehr als 80 Meilen entfernten Meere. Mehrere Quadratmeilen sind von Dörfern und Viehweiden ganz entblöst, vom Horizonte ringsum begrenzt und heifsen Puszta[2].

4. In Rufsland zwischen dem Dnepr, dem Don und der Wolga trifft man ausgedehnte Viehweiden, *Steppen*, welche sich weit nach Polen in die Ukraine erstrecken. Sie sind wahre Savanen mit sehr hohem Grase, völlig eben und ohne Hügel, gewähren aber gute Viehweiden[3].

5. In Asien ist unter andern das wüste Arabien als weite *Sandebene*, ganz ohne Pflanzenleben, am meisten bekannt. In Persien giebt es gleichfalls grofse, ganz pflanzenleere Wüsten, und eben so in Syrien, desgleichen zwischen dem Jaxartes und Oxus[4].

6. Die furchtbarste asiatische, der bekannten africanischen fast gleichkommend ist die *Wüste Gobi* (oder Kobi, die Wüste

1 L. L. Finke über den Moordampf. Hann. 1819. 8.
2 v. Humboldt Reis. III. 251.
3 Pallas Reis. II. 75. III. 638.
4 Meiners Unters. über d. Menschenarten. I. 101.

im Tartarischen, auch *Schamo* genannt von Scha, Sand und Mo, ein Haufen; oder *Khan-hai*, das Sandmeer im Chinesischen), welche sich der Länge nach von Osten nach Westen zwischen China, Daurien und Sibirien hinzieht, und auch schlechthin die grofse Wüste genannt wird. An ihrem östlichen Ende ist sie nirgend über 100 Stunden breit, und die Caravanenstrafse zwischen Kiachta und Peking durchschneidet davon nur 64 Stunden, aber auch dieser Strich ist hinreichend ganze Caravanen zu vernichten. An ihrem westlichen Ende ist sie weit gröfser, nirgend schmaler als 100 Stunden, und nimmt die ganze Westgrenze von China nordwärts zwischen 32° bis 43° N. B. ein. Hier müssen die Reisenden von Seleginsk oder Kiachta aus auf eine Strecke von 450 Stunden stets die besten Gegenden suchen und mitunter völlige Einöden, 40 bis 100 Stunden breit, passiren. Sie läuft hier in mehrere Zweige aus, und ist an der Grenze von einzelnen Wasserstellen und Weideplätzen durchschnitten, die aber nicht einmal den africanischen Oasen gleichen, indem blofs tartarische oder mongolische Horden dort einen Aufenthalt finden können. Man unterscheidet a. die *östliche Gobi* zwischen Kiachta und Peking, auch die Gobeiskaiasteppe der Russen genannt. Sie ist eine gewifs sehr hoch liegende Ebene, eine eigentliche Hochebene, mit grobem Sande, Grus und Kieseln bedeckt, worunter sich farbige und edle Steine befinden, namentlich sehr schöne Carneole, Chalcedone und Cacholong. Eigentlicher Flugsand ist gar nicht vorhanden, eben wie keine Vegetation, nur selten eine Zwergacazie. Zuweilen zeigen sich Quellen, welche aber sogleich wieder im Sande verschwinden und meistens salzig sind. Man hat daher Brunnen gegraben und mit Steinen ausgesetzt, allein sie fallen oft zusammen und enthalten nicht selten salziges Wasser, sind aber meistens nur 8 bis 10 F. tief, und die meiste Zeit mit Eis bedeckt. Die Chinesen haben aufserdem zu Pagul und am Schara-Murin Magazine angelegt, um dem fürchterlichen Mangel an Futter vorzubeugen; ihre Couriere legen den Weg von Peking bis Kiachta auf Dromedaren in 51 Tagen zurück, gröfsere Caravanen von 500 bis 600 Thieren aber bedürfen längere Zeit, und wenn sie im Herbste reisen, so mufs die Zahl der Pferde sehr vermehrt werden, weil oft in einer Nacht 10 bis 20 ja sogar 30 Stück vor Hunger, Kälte und Ermüdung sterben. Die Caravane des Reisenden Lange hielt einen Rasttag zu Beroldschi Guduck am

südlichen Anfange der Hungersteppe, um nach Wasser zu graben; 40 Mann arbeiteten den ganzen Tag, um die 4 F. dicke harte Thonlage zu durchbrechen, fanden Wasser, über welches die Pferde mit ungestümen Andrange herfielen, aber dennoch starben in der Nacht 23. Neben dem Mangel ist auch die Kälte das ganze Jahr hindurch furchtbar, und außer etwas getrocknetem Mist giebt es kein Brennmaterial. Selbst im Zelte des mächtigen Tartarenkaisers Mangu-Khan in Karakorum brannte auf einer Kohlenpfanne nur Dornengesträuch und Viehdünger, als die Gesandten Ludwigs IX., unter denen Rubruquis war, im J. 1253 Audienz hatten. Bäume sind so selten, daſs die Mongolen von einigen Steppen, auf denen etwas Nadelholz steht, wie von einem Paradiese reden. Die strenge Kälte jener Gegenden, obwohl zwischen 43° bis 45° N. B., ist schon aus Dschingis-Khan's Feldzügen bekannt. Die Mongolen tragen stets Schafspelze, indem die warme Jahreszeit erst gegen Ende Juni's anfängt, weswegen jener Eroberer seinen Truppen doppelte Pelze, den Pferden Decken von Filz gab, so auf die Jagd und zum Kriege auszog, und die weichlichen Bewohner der Niederungen leicht überwand, welche ihm dagegen im Sommer wegen einreiſsender Seuchen überlegen waren. Auch mitten im Sommer ist es hauptsächlich des Nachts empfindlich kalt, bis zum Gefrieren des Eises, und es ist namentlich auch aus den Kriegen zwischen den Chinesen und Hunnen bekannt, daſs oft kaltes und ungestümes Wetter mit Schneegestöber eintritt, welches die Letzteren den bösen Geistern beizumessen pflegten.

b. Die westliche Wüste liegt weniger hoch und ist daher auch minder kalt, würde aber sonst durch den Flugsand noch furchtbarer seyn, welchen die Ostwinde von jener her hier aufgehäuft haben. Letzterer macht das Reisen gefährlicher, weil er die Spuren verweht, so daſs die Caravanen sich daher hauptsächlich nur nach den Knochen verunglückter Menschen und Thiere und nach den Spuren des Düngers richten können[1]. Fünf Tagereisen von Kaschgar liegt eine Stadt Lop am See gleiches Namens, welche am Eingange der groſsen Wüste ein wichtiger Ruhepunct für die Caravanen ist. Von da an geht es 30

1 Verfolgte Fürsten flüchteten von Kaschgar aus nicht selten mit ihren Anhängern in dieselbe, kamen aber um, wenn sie selbst den Ausweg nicht finden konnten.

Tage ununterbrochen durch die Wüste im Sande mit einigen unbedeutenden Erhebungen, man findet aber doch auf den verschiedenen Stationen für 50 bis 100 Menschen nebst ihrem Viehe hinlänglich Wasser. In der Gegend von Turfan (etwa 43° 30′ N. B.) herscht über dem Sande eine unerträgliche Hitze, auch sind dort schon die heifsen Winde zu fürchten[1].

7. Die Wüste *Sind* liegt zwischen dem Plateau von Decan und den Flüssen Indus und Ganges. Vorzüglich nach dem Indus hin ist sie eine wahre Sandwüste. Elphinstone giebt ihre Breite zu 80 und ihre Länge von Multan bis nach der Küste hin südlich zu 110 deutschen Meilen an. In ihr befinden sich viele bebauete Stellen und eigentliche Oasen, auch gröfsere Ortschaften und bedeutende Festen, der wüste Theil aber ist mit tiefem Sande bedeckt, welchen der Wind zu Hügeln aufthürmt, und diese in wechselnder Höhe vor sich her treibt. Elphinstone traf an verschiedenen Stellen feste gebahnte Wege, neben denselben aber und wo sie fehlten sanken Kameele und Pferde bis an die Knie in den Sand. Hügel, aus diesem von 20 bis 100 F. aufgethürmt wandern nach der Richtung des Windes. Die Brunnen sind meistens tief, zuweilen bis 300 F. und stets etwas salzig. Um sich gegen Feinde zu schützen, decken die Einwohner der Ortschaften diese Brunnen mit Brettern zu, und überschütten diese mit Sande, wodurch das Fortkommen feindlicher Truppen unmöglich wird[2]. Am Ende der Sandwüste, ehe man nach Bahawalpur kommt, ist eine Fläche ohne Sand, ein harter Thonboden ohne Wasser, Pflanzen und Menschen, eine 20 Meilen lange furchtbare Einöde[3].

8. Ihr ähnlich ist die Sandwüste *Beludschistan*, ein Zweig der grofsen Wüste. Sie besteht durchgehends aus sehr feinem rothen Sande, welcher hoch aufgehäuft seyn mufs, da die Brun-

---

1 Ritter a. a. O. I. 492.

2 Elphinstone zog, aufser dem nach Cabul bestimmten Gesandtschaftspersonale mit 600 Kameelen, 12 Elephanten und 150 Mann Escorte, und es starben in den ersten 8 Tagen 40 Menschen, weil die Hitze des Tages und die folgende Kälte der Nacht so nachtheilig wirkten.

3 Ehe die Gesandtschaft den Indus erreichte, schickte der Khan von Bahawul ihr 100 Kameele mit 400 Wasserschläuchen entgegen, und 4 versiegelte metallene Krüge mit Wasser aus dem Hyphasis für die Gesandten. Vergl. Ritter a. a. O. I. 790.

nen 150 F. Tiefe haben. Pottinger brachte 5 Tage zu, einen Arm derselben, welcher völlig wüst und ohne alle Vegetation war, zu durchreisen. Der Sand wird zu Dünen aufgehäuft, welche 10 bis 20 F. hoch und sehr beweglich sind[1]. Die trockne Atmosphäre füllte sich zur Mittagszeit mit dem Sande so an, dafs die Oberfläche der Wüste sich Viertelstunden weit 6 bis 12 Zoll über die Sandwellen zu erheben schien, und überall einen dicken Sandnebel verbreitete, indem Sandsäulen von 30 ja bis 60 F. Durchmesser empor gehoben wurden[2].

9. In Sibirien liegen verschiedene ausgedehnte *Steppen* zwischen dem Irtisch und Oby, z. B. die von *Baraba*. Es befinden sich viele salzige Seen darin, als der Tchabacly, Tchany, Karosoesk und Topolnoy, welche selbst in historischen Zeiten noch zu einem gemeinschaftlichen Meere oder grofsen Binnensee gehört zu haben scheinen[3].

10. *Africa* hat, mit Ausnahme des gebirgigten Theiles, einen vorherrschenden Charakter, nämlich den der *Sandebenen*, welche nur da nicht existiren, wo Quellen, Bäche oder Flüsse sind, indem diese ihre Umgebungen tränken, und dann vermittelst der grofsen Wärme die üppigste Vegetation erzeugen. Die ungeheure Wassermenge der tropischen Regen kann zwar nicht augenblicklich in den tiefen Sand dringen, sammelt sich daher in den Niederungen, bildet Binnenseen und sogar schiffbare Ströme, allein die nachfolgende Hitze zerstört meistens die Vegetation gänzlich wieder, und es bleibt ein unfruchtbarer Sandboden. Wo indefs das nahe oder entfernte atmosphärische Wasser in die Unterlage des festen Gesteines, namentlich der Urgebirgsarten nicht eindringen kann, und somit an die Oberfläche quillt, entstehen mitten in öden Sandebenen die sogenannten *Oasen*, d. h. mit Bäumen bewachsene und die üppigste Vegetation darbietende gröfsere oder kleinere Districte, welche um so wundersamer erscheinen, je gröfseren Contrast ihr frisches Leben mit der umgebenden Oede bildet. Eine solche ist die aus uralten Zeiten berühmte des Jupiter Ammon. Indem es hier-

---

1 Die Kameele der Caravanen sind gewöhnt, diese Hügel mühsam hinanzusteigen, und dann mit dem herabrollenden Sande herabzugleiten.

2 Ritter a. a. O. Vergl. II. 16.

3 Klaproth in Mag. encyclop. 1817. p. 134.

:h eine grofse Menge Sandebenen in diesem Welttheile ge-
ı mufs, so mag hier doch nur eine derselben, die gröfste
l furchtbarste von allen, kurz beschrieben werden.

Die furchtbare *Sahara* nimmt in ihrer gröfsten Breite den
ızen Strich zwischen 15° und 30° N. B. ein, ist also über
) d. Meilen breit und noch ungleich länger, und wird, wie
Gobi in zwei Theile getheilt, nämlich die östliche und die
stliche. An ihrer östlichen Seite, aber ohne eine eigentliche,
de trennende Grenze, liegt die *Lybische Wüste*, ein weites
ıdmeer an der Grenze Aegyptens, welches von einigen nack-
Gebirgszügen durchschnitten ist, zugleich aber einige Oasen
hält, in denen die Caravanen mit Sicherheit Nahrung und
asser finden. Sie wird durch zwei Caravanenstrafsen, wel-
beide von Cairo ausgehen, und unfern der Natronseen in
Wüste eintreten, durchschnitten, die eine nach Dar-Fur,
welcher BROWN reisete, die andere, welche wir durch HOR-
MANN genauer kennen, nach Murzuk in Fezzan. Auf der
teren sind zwar mehrere Oasen und Wasserplätze, allein
Beschwerlichkeiten der Reise und die Ausdehnung der Sand-
ste geht dennoch daraus hervor, dafs die westlich gehende
avanenstrafse vom Nil bis nach Wara in Bergu am südlichen
nde der Wüste 9 Tage und nachher noch 16 Tage durch ein
sserleeres Sandmeer geht. Auf der zweiten, am Nordrande
Lybischen Wüste hinlaufenden Caravanenstrafse trifft man
erst die unbewohnten Wasserstellen bei Mogarrah und dann
Oase des Jupiter Ammon, das gröfstentheils aus den Steinen
es Tempels erbauete heutige Siwah, demnächst Augila, setzt
er den Gebirgszug Marai oder Ziltan und die damit zusam-
nhängende schwarze und weifse Harusch, nackte, aus dem
ıde hervorragende Felsrücken, welche den Südrand der Wüste
rca und der Wüste von Sort begrenzen. Das erste Hauptziel,
hin die Caravanen nach höchst beschwerlichen Reisen durch
Wüste gelangen, ist die Oase Fezzan. Der östliche Punct
selben, Temissa, liegt 16 Tagereisen, oder nach HORNE-
NN 79 Meilen von Augila, der ganze Abstand von Cairo bis
zzan beträgt 166 Meilen, Fezzan selbst liegt etwa 58 Meilen
ı der Seeküste, wovon es durch eine völlig öde Wüste ge-
nnt ist, die starken Handel treibende Hauptstadt der Oase ist
rzuk.

Die Oase Fezzan ist rundum von felsigen Bergen umge-

ben, und grenzt nur an der westlichen Seite an den eigentlichen Sandocean, die westliche grofse Wüste *Sahara*, den ödesten und menschenleersten Strich der ganzen Erde, welcher dieser gleichsam nicht mehr anzugehören scheint. Sie grenzt östlich an die Oase Fezzan, von wo aus die Caravanenstrafse südlich bis nach Kaschna am Nigerstrome geht, und läuft dann westlich zwischen den Steppen Nigritien's und Bilidulgerid's bis zum atlantischen Oceane. Sogar in das Meer scheint sie sich weithin als Sandbank zu erstrecken, auf dem Continente aber dehnt sie südlich ihr Gebiet bis über die Ufer des unteren Senegal aus, und an ihrer Nordwestecke hat sie seit den Zeiten des Polybius schon den Drahfluſs zugedeckt und ihr Gebiet ansehnlich erweitert. Ueberhaupt muſs allmälig das Gebiet des Flugsandes nach W. und SW. stets mehr um sich greifen. Ströme, die vom Atlas kommen, verlieren sich im Sandmeere als salzige Lachen, erzeugen in der Hitze eine unausstehliche Wurmbrut, und verbreiten durch Fäulniſs einen unausstehlichen Gestank. Selbst die gröſsten Flüsse werden durch den Flugsand gezwungen ihr gewohntes Bette zu verlassen, wie z. B. der ehemals reiſsende Fluſs bei Tessowa in Fezzan und viele andere beweisen, welche oft ihren Lauf änderten und zuletzt ganz zugedeckt wurden. Im Westen besteht die Küste in einer Ausdehnung von wenigstens 150 Meilen, von Mogadore bis zum weiſsen Vorgebirge aus grofsen Dünen. Der Sand wird durch die Winde seewärts getrieben, und erfüllt das Meer wie die Luft mit feinen sandigen Theilen. Die Araber gehen von der Küste aus eine halbe Stunde weit in das Meer nach gestrandeten Gütern, ohne daſs ihnen das Wasser höher als bis an die Hüften reicht. Die Stelle ist für die Schiffe so viel gefährlicher, weil der in der Luft nebelartig schwebende Sand die Gefahr verbirgt. Die Küste schreitet jährlich um 10 bis 12 F. vorwärts, und an vielen Orten bleibt bloſs der gröbere Kiessand, während der feinere fortgeführt wird, oder es wird aus der *Sahel* die *Sahara*.

Die in der östlichen Wüste vorhandenen Felsenzüge und fruchtbaren Oasen fehlen in der westlichen fast ganz, denn einige kleine Oasen sind kaum so zu nennen, auch werden die Wasserstellen bald verschüttet. Mehrere Heere und Caravanen haben darin ihren Untergang gefunden, am bekanntesten ist in dieser Hinsicht das Heer des Cambyses und eine im Jahre 1805 umgekommene Caravane von 2000 Menschen. Der Wind ist

meistens nordöstlich, und in der trocknen Jahreszeit am furchtbarsten; die Regenzeit vom August bis September ist nur kurzdauernd. Wegen des tiefen Sandes ist in der westlichen Wüste gar kein springendes Wasser, und kann nur mit grofser Mühe in bedeutender Tiefe gefunden werden. Man mauert die Brunnen bei gänzlichem Mangel an Steinen mit Kameelknochen aus, bedeckt sie mit Kameelhäuten, und so finden die Caravanenführer sie in der Regel wieder, wenn sie auch lanzenhoch mit Sand überschüttet sind. Dafs Caravanen die westliche Wüste fast in ihrer gröfsten Breite von Sijilmessa nach Tombuktu hin durchschneiden, erscheint grausenerregend, wenn man nur auf einer Charte den furchtbaren Sandocean anblickt. Einige gegrabene Brunnen, z. B. zu Haher, Araoan, Taffilalet u. s. w. gewähren das einzige Labsal, aber der Tod drohet den Caravanen, wenn sie die Brunnen nicht zu rechter Zeit finden oder noch schlimmer, wenn sie bei ihrer Ankunft vertrocknet sind, wie Letzteres bei Taffilalet der Fall war, als im Jahre 1805 die grofse Caravane von 2000 Menschen und 1800 Kameelen dort umkam. Die Caravanen haben daher Führer (*Chabri's*, Weise) welche die Strafsen kennen und sich nach einzelnen Felsen, den herrschenden Winden und dem Polarsterne richten; aber dennoch berichtet Browne, dafs selbst bei der Dar-Fur Caravane oft Kundschafter ausgesandt wurden, um die Gegenden zu erforschen.

Unter die grofsen Beschwerden einer Reise in jenen Wüsten gehören aufser den allgemeinen Entbehrungen noch die Sandwinde und Sandsäulen. Ein stets brennend heifser Wind trocknet die Wasserschläuche aus, und ein Trunk wird zuweilen mit 10 bis 500 Dollars bezahlt. Selbst die Kameele sterben zuweilen vor Durst und Ermattung, wie die vielen zerstreuten Knochen derselben zeigen, denn viel seltener werden sie ihres Fleisches und Wassers wegen geschlachtet. Vögel wagen sich nur bis auf gewisse Weiten in das Sandmeer, und sind daher den Caravanen frohe Boten der nahen Rettung; zuweilen aber werden sie von Stürmen fortgerissen und kommen um. An Wasserstellen findet man Elephanten und Eber, die sich dorthin ziehen, am weitesten dringen Löwen und Panther in die Wüste, einen bleibenden Aufenthalt haben dort blofs Antilopen und Straufse. An einigen Stellen wachsen Disteln, zuweilen Mimosen und dürres Strauchwerk, Wegezeichen für die

Caravanen und oft wochenlang Futter für Kameele und Esel. Alle gröſseren Gesträuche müssen dem Flugsande weichen, und werden auf allen Fall durch die Aequinoctialstürme vertilgt[1].

11. In *America* sind am häufigsten die mit verschiedenen örtlichen Namen bezeichneten *Llanos*, z. B. die von Varinas, von Caraccas u. a., nur etwa 40 bis 50 Toisen über der Meeresfläche erhabene Ebenen, welche keine Binnenseen haben, wie Gobi, sondern das gesammelte Wasser dem Orenoco zusenden. Der Fall der hierdurch gebildeten Flüsse ist so geringe, daſs namentlich der Arauca beim Anschwellen jenes Stromes zuweilen rückwärts flieſst. Den Namen Llanos verdienen sie sehr, denn sie haben gar keine Erhebungen, selbst in einer Ausdehnung von 15 Quadratmeilen oft nicht einen Fuſs hoch. Sie gleichen daher so sehr der Meeresfläche, daſs v. Humboldt sagt, man finde sich geneigt Sonnenhöhen mit dem Sextanten zu nehmen, wenn die Nebel es nicht hinderten. In ihnen befinden sich die sogenannten *bancos*, wirkliche Klippen, gebrochene Sand- oder Kalksteinlager im Becken der Ebenen, 4 bis 5 F. emporragend, gegen 1 bis 2 Meilen lang, völlig wagerecht und parallel laufend mit der Oberfläche der Ebenen, und so in dieselben eingesenkt, daſs man bloſs ihre Ränder finden kann. Auſserdem findet man schwache, sehr allmälig erhobene Wölbungen, welche bloſs durch Nivellement aufzufinden sind, indem sie auf weite Strecken nur bis zu etlichen Toisen anwachsen. Sie werden *Mesas* genannt, als Mesas de Amana, de Guanipa, de Jonoro u. s. w. Ihrer geringen Höhe ungeachtet bilden sie die Wasserscheiden, und werden daher auf manchen Charten unrichtig wie Bergzüge bezeichnet. Man berechnet ihre Ausdehnung auf 8000 Quad. Meilen[2].

12. Die *Pampas* von Buenos-Aires und von Chaco bieten dem Reisenden während 20 bis 30 Tagen nichts als des Oceans ebene Fläche dar. Zur Regenzeit sind sie, wie die Llanos, mit üppigem Grün bekleidet, werden aber zunehmend dürrer, je länger die Trockniſs dauert, die Pflanzen zerfallen dann in Staub, die Erde bekommt weite Spalten, und Krokodile

1 So viel mag aus einer groſsen Menge Thatsachen hier genügen, um eine Beziehung bei der Erklärung verschiedener physikalischer Phänomene zu gestatten. Ausführlich ist Ritter a. a. O. I. 353.

2 v. Humboldt Reis. III. 255.

nebst grofsen Schlangen bleiben im vertrockneten Schlamme liegen; jedoch bleiben die Stellen, wo Flüsse oder Quellen sind, stets grün, auch erhalten sich dort selbst in der gröfsten Trocknifs Büsche einer Palmart, der Mauritia. Uebrigens sind sie leer von Bäumen, und der Aufenthalt verwilderter Ochsen und Pferde. Die Ausdehnung der ganzen Fläche ist ohngefähr so grofs als der Llanos, aber sie verlängern sich südlich noch um 18 Breitengrade, so dafs sie von der Region der Palmbäume sich in die des ewigen Eises erstrecken.

13. Eine dritte grofse, jedoch minder auffallende Ebene bieten die *Bosques* oder *Selvas* des Amazonenstromes, welche gröfser als die des Madeira und Rio negro sind. Die ganze, auch einige Berge in sich begreifende Waldregion des Amazonenstromes dehnt sich von 17° S. B. bis 7° oder 8° N. B. aus, begreift 60000 Quadratmeilen, und ist also ohngefähr sechsmal so grofs als Frankreich. Die Europäer kennen blofs die Ufer einiger sie durchziehender Flüsse [1].

14. In Osten und Westen des Felsengebirges von Neumexico befinden sich mehrere nicht unbedeutende Ebenen, welche mit Pflanzen, meistens aus den Chenopodienfamilien, bedeckt sind.

15. Ganz pflanzenleere, mit Kiessand bedeckte Wüsten, wie die Sahara, giebt es in gröfserer Ausdehnung in America nicht. Blofs in dem tieferen Theile von Peru, zwischen Ametope und Coquimbo, an den Gestaden der Südsee, fand v. Humboldt kleine Strecken dieser Art. Die Spanier nennen sie nicht Llanos, sondern *Desiertos*, wie z. B. die von Sechura und von Atacamez. Die Wüste ist nicht breit, aber etwa 200 Meilen lang. Der Felsengrund liegt unter dem Sande, nie fallt Regen, und wie die Sahara nach Tombuktu zu, so bietet auch diese Wüste nach Huaura hin eine reiche Steinsalzgrube dar. Dieser ähnlich sind die *Campos dos Parecis*, eine ausgedehnte Sandwüste in Brasilien, worin die Flüsse Tapaios, Paraguai und Madeira entspringen. Sie dehnt sich über die höchsten Gebirgsrücken aus, ermangelt beinahe alles Pflanzenwuchses, und erinnert an die Gobi in Asien.

Eine eigene Classe von Ebenen endlich bilden die zwischen hervorragenden hohen Bergspitzen oder auf dem Rücken

---

1 v. Humboldt a. a. O. III. 262.

der Bergketten ausgebreiteten *Bergebenen* (Plateaux), aus denen im ersteren Falle die Bergspitzen emporgestiegen zu seyn scheinen, oder auf denen man sich oft unerwartet wie in einer niedrigen Ebene befindet, wenn man durch lange Thäler zwischen Felsenklippen emporgestiegen ist, und auf eine Bergspitze zu kommen erwartet. Man findet sie nicht selten. Unter die bedeutendsten gehört eine ausgedehnte in Habesch[1], die große Asiatische der östlichen Gobi, deren Höhe zwar nicht genau bestimmt, aber gewifs sehr bedeutend ist, wie schon aus der Höhe der umgebenden Berge, des Altai, Imaus u. a. folgt, insbesondere die bekannte ausgezeichnete Bergebene von Quito, worauf Sta. Fe de Bogota in einer Höhe von 8160 F. und Antisana in 12600 F. liegt, ferner die zwar minder hohe, aber sehr ausgedehnte von Mexico, welche sich im Ganzen von 18° bis gegen 40° N. B. erstreckt und mehrere hohe Berggruppen enthält. Mehrere andere in allen Welttheilen können hier nicht einzeln namhaft gemacht werden.

D. Gewässer der Erde.

Zur physischen Geographie gehört hauptsächlich noch die Untersuchung des Wassergehaltes der Erde. Hierbei kommen in Betrachtung zuerst die fliefsenden Gewässer, als Quellen, Bäche, Flüsse und Ströme, dann die stillstehenden, als Lachen, Sümpfe, Teiche und Seen, endlich die sich hier anschliefsenden Meere von den kleineren eingeschlossenen bis zu den grofsen Oceanen. Von den hauptsächlichen Merkwürdigkeiten der hier im Allgemeinen genannten Gegenstände wird an seinem Orte besonders gehandelt werden[2].

VIII. Ursprung und Veränderungen der Erde und ihrer Oberfläche.

Dieser sehr weitläuftige Theil derjenigen Untersuchungen, welche man rücksichtlich der Entstehung und Veränderung unseres Erdballes angestellt hat, wird gröfstentheils oder vielmehr ganz zu einer eigenen wissenschaftlichen Disciplin, der *Geologie* gerechnet. Es gehört dabei allerdings in das Gebiet der Physik, genau zu prüfen, ob und wie weit die bekannten Naturkräfte

1 S. Lobo Reis. I. 145.

2 S. die hier genannten Artikel *Bäche*. S. *Flufs*.

hinreichen, um aus ihnen sowohl die anfängliche Entstehung der Erde abzuleiten, als auch diejenigen allmäligen Veränderungen zu erklären, welche anzunehmen entschiedene Thatsachen berechtigen. Weil aber hierbei gar viele Hypothesen erwähnt werden müssen, das Ganze zugleich eine weitläuftigere Untersuchung erfordert, als hier schicklich Platz finden könnte, so verspare ich dasselbe für den Artikel *Geologie*. *M.*

Erdferne.

Apogaeum; (Von ἀπὸ und γῆ die Erde); *Apogée;* **Apogee, the higher apsis**; ist der Punct, wo der *Mond* von der Erde am entferntesten ist. Man gebraucht das Wort jetzt nur noch in Beziehung auf den Mond, da er allein als eine elliptische Bahn um die Erde beschreibend anzusehen ist, in welcher er am einen Ende der Axe sich in der Erdferne, dem entferntesten Puncte der Apsidenlinie, befindet.

Bei dieser Erdferne ist sein scheinbarer Durchmesser nur 28′ 56″, statt daſs er in der Erdnähe 33′ 51″ erscheinen kann. (Nämlich der geocentrische scheinbare Durchmesser, der von dem, nach der Stellung über dem Horizonte veränderlichen scheinbaren Durchmesser, so wie wir ihn sehn, etwas verschieden ist). Die Parallaxe des Mondes ist bei seiner Erdferne 53′, bei seiner Erdnähe 62′.

Auch der *Sonne* kann man allerdings eine Erdferne zuschreiben, da aber die Erde es ist, welche sich bewegt, so sagen wir richtiger, die Erde befinde sich in der Sonnenferne.

Die *Planeten* erreichen auch eine gröſste Entfernung und eine kleinste Entfernung von der Erde, indem sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen. Die untern Planeten, Venus und Mercur, sind von der Erde am entferntesten, und erscheinen daher am kleinsten, wenn sie in ihrer obern Conjunction jenseits der Sonne, ungefähr hinter dieser vorbei gehn; sie sind der Erde am nächsten und erscheinen (so lange der Glanz der Sonne und das Abnehmen der erleuchteten Phase erlaubt, sie zu sehen) am gröſsesten in der untern Conjunction, da sie zwischen uns und der Sonne entweder vor dieser genau vorbei oder oberhalb oder unterhalb derselben hin gehen.

Die obern Planeten sind in der Erdferne, wenn sie in ihrer Bahn sich jenseits der Sonne, mit ihr in Conjunction be-

finden, daher dann auch vorzüglich der Mars sich auffallend klein zeigt. Sie sind in der Erdnähe, wenn sie in Opposition mit der Sonne gerade um Mitternacht im Meridian erscheinen. Am Mars ist es am auffallendsten, daſs er dann sehr groſs erscheint, weil er bei seiner Erdferne fast 4 mal so entfernt, als bei seiner Erdnähe ist. *B.*

Erdkugel

Erdglobus ist eine Kugel mit einer bildlichen Darstellung sowohl der mathematischen Eintheilung unseres Erdballes, als auch seiner Oberfläche rücksichtlich der Vertheilung von Land und Wasser, zuweilen auch der Erhabenheiten und Vertiefungen der Erde, und noch öfterer der politischen Eintheilung der Länder. Inzwischen gehört die Aufgabe, die Eintheilungen der Erdoberfläche auf einer Kugel zu zeichnen, zur praktischen Geometrie, das Technische der Verfertigung solcher Globen aber zur Technologie, und kann daher hier überall nicht abgehandelt werden. *M.*

Erdnähe.

Perigaeum; Perigée; *Perigee*, ist die gröſste Annäherung zur Erde, also das Gegentheil der Erdferne, und so kann sie aus dem, was über diese leztere gesagt ist, leicht erklärt werden. *B.*

Erdpole. S. *Erde.*

Erdstreiche, *Erdgürtel*, *Erdzonen.* S. *Erde.*

Erfahrung.

Experientia; Expérience; *Experience.* Daſs wir zu den Erfahrungen, welche in der Physik die Grundlage der auf sie gebaueten Naturgesetze bilden, durch Beobachtungen und Versuche gelangen, ist oben unter dem Artikel *Beobachtung* Th. 1. S. 884 gesagt, und ebendaselbst zugleich gezeigt, auf welche Weise der Physiker die beiden angegebenen Mittel benutzt, um durch dieselben zu den ihm unentbehrlichen Erfahrungen zu gelangen. Inwiefern aber das Sammeln, Prüfen und Behalten der Erfahrungen eine Thätigkeit der Seele erfordert und mit dem Psychischen zusammenhängt, diese Untersuchung gehört theils zur Logik, theils zur Psychologie, und muſs daher diesen wissenschaftlichen Zweigen überlassen bleiben. *M.*

Eriometer.

(von ἔριον Wolle und μέτρον das Maſs) ein Werkzeug, die Feinheit der Wolle und aller andern feinen Substanzen zu messen. THOMAS YOUNG hat dasselbe angegeben [1], allein es ist gleich anfangs und auch späterhin wenig beachtat, obwohl insbesondere bei der vorherrschenden atomistischen Ansicht leicht mehrfacher Gebrauch davon gemacht werden könnte. Dieser Gelehrte wollte nämlich untersuchen, ob man die viel besprochenen Kügelchen im Blute, Speichel, Eiter u. s. w. wahrnehmen könne, und fand die beste Methode hierzu darin, daſs er Tropfen der Flüssigkeiten, mit Wasser verdünnt und an einem Theelöffel hängend, im dunkeln Zimmer gegen helles Kerzenlicht hielt, indem sich dann zunächst um das dunkele Kügelchen ein erhelltes Feld, und um dieses farbige Ringe bildeten, ein rother, dann ein grüner u. s. w. eine aus der Beugung des Lichtes leicht erklärliche Erscheinung. Zugleich entging ihm die Bemerkung nicht, daſs diese Ringe jederzeit so viel gröſser waren, je weniger die betrachteten Körper im Durchmesser hielten, und es bedurfte daher nur eines Mittels, die Gröſse der Ringe zu messen, und ihren Normalwerth nach einer bekannten Gröſse festzusetzen, um hierdurch wieder das Maſs für andere Körper zu erhalten. Letzteres erreichte er am besten dadurch, wenn er die beobachteten Farbenringe, wozu sich namentlich der erste grüne am besten eignet, auf einen in bestimmter und stets gleichbleibender Entfernung befindlichen dunkeln Grund projicirte, und ihre Durchmesser vermittelst einer Scale maſs, welche in sehr kleinen, in dem dunkelen Bleche gemachten Löchelchen bestand, auf welches die Farbenringe projicirt wurden. Das Instrument besteht demnach aus einem Messingblech mit zwei Löchelchen für die verschiedenen Messungen, das eine von $\frac{1}{70}$, das andere von $\frac{1}{50}$ Z. Durchmesser, jenes mit einem Kreise von 8 bis 10 der feinsten Puncte, in einem Halbmesser von $\frac{1}{4}$ Z., dieses mit einer gleichen Anzahl im Halbmesser von $\frac{1}{3}$ Z. umgeben, und jedes mit der erforderlichen Scale versehen. Vor dieses Blech werden faserige Körper an einem Schieber ausge-

1 Remarks on the Measurement of minute Particles, especially those of the blood and of Pus. From Dr. YOUNG's Medical Literature. Lond. 1813. 8. p. 545. Vergl. Ann. of Phil. II. 115.* Bibl. Brit. LV. 167.

spannt gebracht, Pulver und Flüssigkeiten aber zwischen zwei feinen und sehr durchsichtigen Gläsern, so daſs man sie in die Mitte des runden Loches bringen, vermittelst einer starken argandschen Lampe oder mehrerer hinter einander stehender Lichter betrachten, und die entstehenden Ringe auf die Scale des Bleches projiciren kann. Personen, welche nicht kurzsichtig sind, müssen sich dabei meistens einer Linse bedienen, auch kann man das Sonnenlicht anwenden, wenn man das *Eriometer* vor einem Fernrohre befestigt. Durch vergleichende Messungen fand Young, daſs ein Grad der Scale seines Instrumentes $\frac{1}{30000}$ eines Zolles bestimmte, und er stellte hiernach eine Menge Messungen der verschiedensten Substanzen an, wodurch er unter andern die Milchtheilchen $=3^{\circ}$, die Blutkügelchen $=6^{\circ}$–7°, Eiter $7^{\circ},5$ seiner Scale fand. *M.*

Erkaltung.

Das Erkalten, Abkühlung; *Refrigeratio*; Refroidissement; *Cooling;* bezeichnet denjenigen Naturprocefs, wonach die Wärme diejenigen Körper, an welche sie in verschiedenem Verhältnisse der gröſseren oder geringeren Intensität gebunden ist, nach gewissen bestimmten Gesetzen verläſst. Die letzteren werden aus der Natur derjenigen eigenthümlichen Potenz, welche wir Wärme nennen, mit Rücksicht auf das Wesen und die äuſsere Beschaffenheit der verschiedenen Körper entwickelt. Weil aber diese Gesetze mit den Bestimmungen des Wesens der Wärme und anderweitigen ähnlichen Erscheinungen innig zusammenhängen, so lassen sie sich hiervon nicht füglich trennen, und werden daher am besten unter dem Artikel *Wärme* abgehandelt. *M.*

Erleuchtung.

Illuminatio; Illumination; *Illumination. Erleuchtet* nennen wir diejenigen Gegenstände, die ihr Licht von andern, Licht aussendenden, Körpern empfangen, und dieser Erleuchtung durch fremdes Licht schreiben wir eine verschiedene Intensität zu, die sich nach gewissen Regeln bestimmen läſst. Das Auge ist nicht so geradehin ein sicherer Richter über den Grad der Erleuchtung, theils schon deshalb weil wegen der ungleichen, bald gröſsern bald geringern, Oeffnung der Pupille der

Eindruck, welchen einerlei Licht auf unser Auge macht, ungleich ist, theils und vorzüglich, weil das Auge nur den gesammten Glanz, allenfalls beurtheilt, und auch da doch nur über Gleichheit und Ungleichheit, nicht aber über ein Maſs der Ungleichheit, ob der gesammte Glanz doppelt so groſs sey, u. s. w. zu urtheilen vermag. Um hier die Bedeutung der Worte strenge festzusetzen, will ich, nach Lambert's Anleitung, folgende Unterscheidungen bemerken[1].

1. Wir legen jedem leuchtenden Körper eine Helligkeit (claritas) bei, die wir die *erleuchtende Kraft* (*vis illuminans*), *den Glanz* (*splendor*) desselben nennen, und unterscheiden davon die durch jenen leuchtenden Körper den Gegenständen mitgetheilte Helligkeit, die nun eben Erleuchtung (*illuminatio*) heiſst. Jener Glanz des Körpers kann bei bestimmter gleichbleibender wahrer und scheinbarer Gröſse sehr ungleich, also die *Intensität des Lichtes* bei leuchtenden Körpern verschieden seyn. Hiernach ist auch die Helligkeit, so fern sie dem Auge erscheint *(claritas visa)*, verschieden, und diese hängt nicht von dem gesammten Eindrucke ab, den der Glanz des Lichtes auf unser Auge macht, sondern von der Lichtstärke jedes Punctes; daher sagen wir, daſs die eigentliche dem Auge sich darstellende Helligkeit (*claritas visa*) eines Gegenstandes mit der Entfernung nur dann abnimmt, wenn das Licht in der Luft oder in den Medien, die es durchläuft, eine Schwächung leidet, und daſs sie ungeändert bliebe, wenn wir darauf nicht Rücksicht nehmen; dagegen ist der gesammte Glanz eines entfernten Lichtes geringer als des nähern, und auch die Erleuchtung, welche es hervorbringt, ist geringer. Jeder einzelne Punct der Sonne würde uns eben so hellglänzend erscheinen, wenn sie auch doppelt so weit hinausgerückt würde; aber da sie dann nur einen halb so groſsen scheinbaren Durchmesser hätte, so würde die durch sie bewirkte Erleuchtung sehr geschwächt seyn.

2. Die Erleuchtung, welche eine dem Lichte ausgesetzte Ebene empfängt, hängt offenbar ab theils von der eigenthümlichen Lichtstärke des erleuchtenden Lichtes, theils von der Entfernung desselben, theils von der Neigung der erleuchteten Ebene gegen die Lichtstrahlen; und da die aus diesen drei Um-

1 J. H. Lambert Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vindel. 1760. §. 86. sq.

ständen hervorgehenden Verschiedenheiten sich nach theoretischen Gründen voraussehen lassen, so ergeben sich Vergleichungen, die zu weiteren Schlüssen führen. Obgleich wir nämlich nicht in allen Fällen so sicher bestimmen können, ob zwei erleuchtete Flächen eine gleiche Erleuchtung genieſsen, so beurtheilt doch das Auge die Gleichheit oder Ungleichheit der Erleuchtung dann leicht, wenn zwei erleuchtete Ebenen genau von gleicher Beschaffenheit und neben einander gestellt vor unserem Auge liegen; und da wir mit allem Rechte annehmen dürfen, daſs zwei gleiche Lichter, nahe zusammen aufgestellt, eine doppelt so groſse Erleuchtung bewirken, und eben so bei mehrern die Erleuchtung im Verhältnisse ihrer Zahl wachse, so bietet sich darin ein Mittel zu mehrern Vergleichungen dar.

3. Wir dürfen mit Grunde vermuthen, daſs einerlei Licht, derselbe leuchtende Körper, in der halben Entfernung eine viermal so starke Erleuchtung als in der ganzen Entfernung bewirkt, oder daſs die Erleuchtung unter sonst gleichen Umständen den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional sey. Denn wenn man den leuchtenden Punct als Mittelpunct einer Kugel ansieht, so wird ja alles von ihm ausgehende Licht verwendet, um die innere Kugeloberfläche zu erleuchten; da nun diese dem Quadrate des Halbmessers proportional ist, und es immer dieselben Lichtstrahlen sind, die in gröſserer Entfernung die gröſsere, in geringerer Entfernung die kleinere Kugeloberfläche erleuchten, so scheint es theoretisch gewiſs, daſs die Erleuchtung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional seyn muſs.

Aber auch Versuche bestätigen dieses Gesetz. Man stelle einer weiſsen Wand C E B gegenüber ein Licht in K, und zwei eben so hell leuchtende in A nahe bei einander auf. Ein undurchsichtiger Schirm H I sey zugleich so aufgestellt, daſs sein durch das Licht K hervorgebrachter Schatten von der Linie D F, und sein durch die vereinigten Lichter A hervorgebrachter Schatten durch eben diese Linie begrenzt werde; daſs also der Raum zunächst an D F gegen C zu nur von dem einen Lichte, und der Raum zunächst an D F gegen B zu nur von den zwei Lichtern erleuchtet werde. Wenn alles so geordnet ist, so erkennt das Auge leicht, ob die Erleuchtung der Fläche E B, nahe an der Linie D F, an beiden Seiten gleich oder ungleich ist, und man kann, indem man das Licht K auf der Linie K H näher heran rückt oder mehr entfernt, es so einrichten, daſs diese

Fig. 186.

Gleichheit der Erleuchtung statt findet. Stehen nun die Lichter K und A zu gleicher Zeit so, dafs sie die Gegend um DF beinahe genau mit senkrecht auffallenden Strahlen erleuchten, und ist die Wand ganz gleichförmig weifs, so kann man schliefsen, dafs die als gleich erscheinende Erleuchtung, die an der einen Seite von einem Lichte, an der andern Seite von zwei Lichtern bewirkt wird, ein richtiges Mafs für die mit gröfserer Entfernung abnehmende Erleuchtung gebe. Hier zeigt sich nun wirklich, dafs die Abstände $DA : DK = \sqrt{2} : 1$, seyn müssen, oder allgemein, dafs die Anzahl der Lichter in A zur Anzahl der Lichter in K sich verhält wie die Quadrate der Entfernungen derselben von der erleuchteten Fläche.

4. Ebenso scheint ein anderes Gesetz für die Erleuchtung sich aus theoretischen Gründen herleiten zu lassen. Wenn Lichtstrahlen, die alle mit AB, CD parallel einfallen und den ganzen Raum zwischen AB, CD erfüllen, die Ebene BD erleuchten, so vertheilt sich hier die Erleuchtung auf eine gröfsere Fläche, als wenn eben die Strahlen von der gegen ihre Richtung senkrechten Ebene DE aufgefangen würden; es mufs also ohne Zweifel der Grad der Erleuchtung gröfser für DE als für DB seyn, und die Grade der Erleuchtung müssen sich, darf man wohl schliefsen, umgekehrt wie die Flächen verhalten, das ist, der Grad der Erleuchtung mufs dem Sinus des Winkels ABD, den die Strahlen mit der Ebene machen, proportional seyn. Die Erfahrung bestätiget auch dieses Gesetz. Stellt man nämlich in C ein Licht auf, welches in A die Wand mit senkrecht auffallenden Strahlen erleuchtet, und in D ein Licht, welches ganz nahe bei A in B, mit schief auffallenden Strahlen, die Wand erleuchtet, so findet man, dafs $\left(\frac{1}{AC^2}\right) = \frac{\text{Sin. } DBG}{BD^2}$ seyn mufs, oder $AC^2 : BD^2 = 1 : \text{Sin. } DBG$. Man hätte auch in C ein Licht und in D mehrere Lichter, n an der Zahl, stellen können, dann würde sich finden, dafs $\frac{1. \text{ Sin. tot.}}{AC^2} = \frac{n. \text{ Sin. } DBG}{BD^2}$ seyn müsse.

Fig. 187. Fig. 188.

5. Wir haben gewöhnlich nicht den Fall zu betrachten, wo von einem einzigen leuchtenden Puncte Licht ausgeht, sondern es ist eine leuchtende Oberfläche, welche die Erleuchtung einer gewissen Fläche bewirkt; es entsteht daher die Frage, wie die Erleuchtung von der Lage der leuchtenden Fläche oder von dem

Aussendungswinkel (*angulus emanationis, angulus emissionis*) abhängt. Eine einfache Erfahrung beantwortet diese Frage sehr gut[1]. Wenn wir eine weiſse, von der Sonne erleuchtete Ebene ansehen, so erscheint uns diese bei jeder willkürlich gewählten Stellung des Auges gleich weiſs oder mit einem gleichen Grade von Helligkeit, vorausgesetzt, daſs wir kein durch eigentliche Reflexion, wie vom Spiegel, zurückgeworfenes Licht empfangen. Bleibt nun das Auge gleich weit entfernt, so erscheint in
Fig. 189. C der kleinere Theil A D der Wand, in E der gröſsere Theil A B unter gleichem Sehewinkel, und da der Eindruck auf das Auge in beiden Fällen gleich bleibt, so dürfen wir schlieſsen, daſs auch die erleuchtende Kraft des Theiles A B für den Punct E eben so groſs sey, als die erleuchtende Kraft des Theiles A D es für C ist. Sind nun A E = A C und A E B = A C D, so ist

$$AB = \frac{AE.\ \mathrm{Sin.}\ AEB}{\mathrm{Sin.}\ ABE} = \frac{AD.\ \mathrm{Sin.}\ ADC}{\mathrm{Sin.}\ ABE};$$

die Erfahrung zeigt also, daſs die erleuchtende Kraft gleich ist, wenn $AB.\ \mathrm{Sin.}\ ABE = AD.\ \mathrm{Sin.}\ ADC$, oder da wir die Menge des ausgesendeten Lichtes unter sonst gleichen Umständen der Gröſse der Fläche proportional annehmen müssen, so ergiebt sich hier, daſs diese Menge des ausgesendeten Lichtes zugleich der Gröſse der Fläche und dem Sinus des Aussendungswinkels proportional sey.

Hieraus ergiebt sich nun ferner, daſs von einer kleinen
Fig. 190. leuchtenden Ebene A B C D aus, eben die Lichtmenge auf den Punct P hin gelangt, oder daſs die Erleuchtung des Punctes P eben so groſs ist, wie sie seyn würde, wenn eine mit eben der Intensität des Lichtes ausgestattete Ebene die Pyramide P A B C D anderswo, etwa wie a b c d schlösse. Oder mit andern Worten, wenn man sich den erleuchteten Punct als Spitze einer Pyramide denkt, und die Licht aussendende Fläche, sie mag eben oder krumm seyn, als Grundfläche derselben, so würde jede mit derselben Intensität des Lichts begabte Fläche, wenn sie zwischen eben den Seitenwänden der Pyramide eingeschlossen wäre, dieselbe Erleuchtung auf jenen Punct hervorbringen.

Dieses führt umgekehrt zu einem Verfahren, um die Intensität des Lichtes zweier leuchtender Körper zu vergleichen. Besäſsen wir irgend ein kugelförmig gebildetes Licht von eben dem

1 Lambert §. 84.

eigenthümlichen Glanze wie die Sonne, so müſste dieses auf einen Punct, von welchem aus es 32 Minuten scheinbaren Durchmesser hätte, eben die Erleuchtung wie die Sonne selbst hervorbringen; und wenn wir also finden, daſs ein Kerzenlicht, dessen scheinbare Gröſse der scheinbaren Gröſse der Sonne gleich ist, nur eine $\frac{1}{12000}$ so starke Erleuchtung bewirkt[1] als die Sonne, so werden wir die Intensität des Sonnenlichts gleich dem 12000 fachen des Kerzenlichts setzen dürfen[2].

6. Wenn wir also die Erleuchtung bestimmen wollen, welche irgend einem kleinen Theile einer Ebene zu Theil wird, so kömmt es dabei auf die Intensität des Lichtes der leuchtenden Fläche, auf ihre scheinbare Gröſse und Gestalt und auf die Neigung an, unter welcher die Lichtstrahlen die erleuchtete Ebene treffen.

Wenn sich über der sehr kleinen Ebene A ein kreisförmig begrenzter, leuchtender Körper so befindet, daſs die von seinem Mittelpuncte B auf die Ebene A gezogene Senkrechte den Punct A trifft, so findet man die von jenem Kreise im Puncte A bewirkte Erleuchtung durch folgende Ueberlegung. Es sey des leuchtenden Kreises scheinbarer Halbmesser BAD $= \varphi$, und des kleinen bei D liegenden Theilchens scheinbare Breite $= d\varphi$, so wird, wenn man die Intensität des Lichtes $=$ J nennt, die durch D hervorgebrachte Erleuchtung in A $= d\psi \cdot d\varphi . J . \text{Cos.}\,\varphi$ seyn, weil nämlich Cos. φ dem Sinus des Neigungswinkels, unter welchem der Lichtstrahl die Ebene A trifft, gleich ist. Aber für den ganzen Ring, dessen scheinbarer Halbmesser $= \varphi$ ist, sind alle Umstände ganz eben so, also können wir statt der zweiten Abmessung $d\psi$ des Theilchens D, sogleich den ganzen Umfang des Ringes $= 2\pi . \text{Sin.}\,\varphi$ setzen, so daſs die durch den ganzen Ring bewirkte Erleuchtung in A, $= 2\pi\, d\varphi . J . \text{Sin.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi$, und folglich die durch den ganzen Kreis bewirkte Erleuchtung $= \pi . J . \text{Sin.}^2\,\varphi$ ist. Fig. 191.

Die Erleuchtung in dem Puncte A, den die vom Mittelpuncte des erleuchtenden Kreises gegen die Ebene A senkrecht gezogene Linie trifft, ist also dem Quadrate des Sinus, der dem scheinbaren Halbmesser des Kreises zugehört, proportional.

---

1 Leslie's Versuche, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, übers. von Brandes S. 66.

2 Vergl. auch v. Zach Mon. Corr. VIII. 304.

Wäre $\varphi = 90°$, oder nähme von A ausgesehen, der leuchtende Kreis scheinbar die ganze Halbkugel ein, wie es geschehen würde, wenn entweder BD unendlich grofs, oder AB unendlich klein wäre, so würde die Erleuchtung in $A = \pi . J.$ seyn. Lambert nennt diesen Werth die *absolute Erleuchtung*, weil der Körper, dessen Lichtstärke $= J$ ist, bei keiner Gröfse dem Puncte A eine stärkere Erleuchtung ertheilen kann.

7. Wäre BD eine Kugel vom Halbmesser $= r$, so würde ihre von A aus gesehene scheinbare Gröfse, wenn $AB = a$ ist, durch $\varphi = \text{Ang. Sin.} \frac{r}{a}$ angegeben, da die von A aus an die Kugel gezogene Tangente $= \sqrt{(a^2 - r^2)}$ wäre. Die durch diese Kugel in A bewirkte Erleuchtung würde also

$$= \pi J . \text{Sin.}^2 \varphi = \frac{\pi J . r^2}{a^2}$$

seyn, also dem Quadrate des wahren Halbmessers direct, und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

8. Wenn der kreisförmig begrenzte Körper nicht in der Stellung gegen die zu erleuchtende Ebene ist, dafs sein Mittelpunct senkrecht über dem Puncte steht, dessen Erleuchtung wir suchen, so wird die Betrachtung etwas schwieriger. Es sey
Fig. 192. IL dieser Körper und K der kleine Theil der Ebene, dessen Erleuchtung wir suchen; AEB sey der gröfste Kreis, wo die erweitert gedachte Ebene K die Kugelfläche trifft, auf welcher wir den Kreis IL gezeichnet denken; G sey dieses kleineren Kreises Mittelpunct, C des Kreises AEB Pol, $GC = a$, $MG = x =$ dem scheinbaren Halbmesser des leuchtenden Kreises; endlich sey für irgend einen Punct M dieses Kreises $CGM = y$, also $\text{Cos. } CM = \text{Cos. } a \text{ Cos. } x + \text{Sin. } a . \text{Sin. } x . \text{Cos. } y$. der Punct M, dessen scheinbare Gröfse durch $dx . \text{Sin. } x . dy$ ausgedrückt wird, weil des Kreises IL Halbmesser $= \text{Sin. } x$ ist, bringt auf der Ebne K eine Erleuchtung $= J . dx . dy . \text{Sin. } x . \text{Cos. } CM$ hervor, weil Cos. CM der Sinus des Neigungswinkels ist, unter welchem die Strahlen auf K auffallen, und diese von M ausgehende Erleuchtung $= J dx . \text{Sin. } x . (dy . \text{Cos. } a \text{ Cos. } x + dy \text{ Sin. } a \text{ Sin. } x . \text{Cos. } y)$, würde, in Beziehung auf y integrirt die von dem ganzen Ringe, dessen scheinbare Breite $= dx$ ist, bewirkte Erleuchtung angeben $= J \text{Cos. } a . \, y . dx \text{ Sin. } x \text{ Cos. } x + J \text{ Sin. } a . \text{ Sin. } y . dx . \text{Sin.}^2 x$. Aber dieses Integral mufs von $y = 0$ bis $y = 2\pi$ genommen werden, und giebt dann die Erleuchtung durch den ganzen Ring

$= 2\pi$. J. Cos. a. dx. Sin. x. Cos. x. und folglich vermöge der zweiten Integration die durch den ganzen Kreis bewirkte Erleuchtung $= \pi$ J. Sin.^{2} x. Cos. a.

Für einen leuchtenden Kreis also findet die einfache Regel statt, daſs die von ihm der kleinen Ebene ertheilte Erleuchtung dem Sinus des Neigungswinkels, welchen die vom Mittelpuncte ausgehenden Strahlen mit der Ebene machen, proportional ist. Da π. Sin.^{2} x die Gröſse der scheinbaren Fläche des Kreises ausdrückt, so ist für einen leuchtenden Kreis, sobald die von dem erleuchteten Puncte auf seine Ebene gesetzte Senkrechte den Mittelpunct trifft, die Erleuchtung eben so groſs, als sie seyn würde, wenn die gesammte Lichtmenge $= \pi$ J. Sin.^{2} x von dem Mittelpuncte des Kreises ausginge. Eben das gilt also für eine leuchtende Kugel.

9. Da uns so oft der Fall vorkommt, daſs das Licht durch einen geradlinigt begrenzten Raum einfällt, so verdient die Frage, welche Erleuchtung in diesem Falle statt finde, eine nähere Betrachtung. Wir wollen den Punct, welcher die Erleuchtung empfängt, als in einer horizontalen Ebene liegend, oder als einen kleinen Theil einer horizontalen Ebene einnehmend ansehen. Denken wir uns diesen Punct als Spitze einer Pyramide, deren Grundfläche die geradlinigt begrenzte Oeffnung, das Fenster zum Beispiel, ist, so schneiden die fortgesetzten Seitenebnen der Pyramide auf der Oberfläche einer Kugel eine durch Bögen gröſster Kreise begrenzte vielseitige Figur ab, und unsere Frage kommt also darauf zurück, die durch ein sphärisches Vieleck oder zunächst durch ein sphärisches Dreieck, welches Licht aussendet, bewirkte Erleuchtung anzugeben. Am leichtesten läſst sich diese Frage beantworten, wenn zwei Seiten des sphärischen Dreiecks vertical sind, also sich im Zenith desjenigen Punctes der horizontalen Ebene schneiden, dessen Erleuchtung wir suchen. Macht dann auch die dritte Seite mit diesen beiden verticalen Seiten schiefe Winkel, so giebt es doch einen andern Verticalkreis, der sie senkrecht schneidet, und es ist daher zureichend, die von einem Verticaldreieck CMQ, das bei Q einen rechten Winkel hat, bewirkte Erleuchtung zu suchen. Fig. 193.

Wir denken uns einen zweiten gröſsten Kreis mq, demjenigen MQ, der das Dreieck begrenzt, unendlich nahe und ebenfalls bei q auf Cq senkrecht: so stellt MmqQ das Differen-

tial des leuchtenden Dreiecks CMQ vor, und wenn CQ = y, QM = x, so ist Mm = dy. Cos. x; MmnN = dx. dy. Cos. x. als zweites Differential der leuchtenden Fläche. Bekanntlich aber ist im rechtwinklichen Dreieck Cos. CM = Cos. x. Cos. y, = dem Sinus des Neigungswinkels, unter welchem die von MmnN ausgehenden Strahlen die Ebene treffen. Die von diesem Theilchen bewirkte Erleuchtung der horizontalen Ebene im Puncte K ist also = $dx.\ dy.\ Cos.^2 x.\ Cos.\ y$, folglich die durch den ganzen Streifen MmqQ bewirkte Erleuchtung

$$= dy.\ Cos.\ y.\ \left\{\frac{1}{2}x + \frac{1}{4}\ Sin.\ 2x\right\}.$$ Dieses Integral bedarf zwar keiner hinzugefügten Constans, aber da x eine Function von y ist, indem bei gleich bleibendem Winkel MCQ sich beide Gröfsen zugleich ändern, so muss man $Sin.\ y = \frac{Tang.\ x}{Tang.\ MCQ}$ und folglich $\frac{1}{2}\left(x + \frac{1}{2}\ Sin.\ 2x\right) d.\ Sin.\ y$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(x + \frac{1}{2}\ Sin.\ 2x\right) d.\ Tang.\ x}{Tang.\ MCQ}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(x.\ d.\ Tang.\ x + dx.\ Tang.\ x\right)}{Tang.\ MCQ}$$

setzen, woraus das Integral

$$= \frac{\frac{1}{2}\ x.\ Tang.\ x}{Tang.\ MCQ} = \frac{1}{2}\ x.\ Sin.\ y$$ folgt. Diese selbige Formel gilt auch noch, wenn bei Q kein rechter Winkel ist, nur muſs man dann unter y nicht die Seite CQ, sondern das von C auf die Seite MQ gefällte Perpendikel verstehen, und die durch ein Verticaldreieck bewirkte Erleuchtung ist immer gleich dem Producte aus der halben Grundlinie in den Sinus der Höhe.

10. Aus der durch ein verticales Dreieck bewirkten Erleuchtung läſst sich die jedem andern Dreieck entsprechende Erleuchtung herleiten. Es sey NFQ irgend ein sphärisches Dreieck, so ist, wenn man die Verticalkreise durch die drei Winkelpuncte zieht, die vom Dreieck NFQ bewirkte Erleuchtung der Ebene K, worauf CK senkrecht ist, gleich dem Un-

Fig. 194.

terschiede der durch CNQ + CFQ und der durch CNF bewirkten Erleuchtung. Nun ist der Sinus der Höhe des Dreiecks NQC,

$$= \text{Sin. CQ. Sin. CQN},$$

der Sinus der Höhe für das Dreieck FQC

$$= \text{Sin. CQ. Sin. CQF},$$

der Sinus der Höhe für das Dreieck FNC

$$= \text{Sin. CF. Sin. CFN},$$

also die dem Dreieck QNF entsprechende Erleuchtung

$$= \tfrac{1}{2}\,\text{QF. Sin. CQ. Sin. CQF}$$

$$+ \tfrac{1}{2}\,\text{QN. Sin. CQ. Sin. CQN}$$

$$- \tfrac{1}{2}\,\text{FN. Sin. CF. Sin. CFN}.$$

Mit Hülfe dieser Formel ließe sich auch für ein sphärisches Viereck und jede andere Figur die Erleuchtung in einem bestimmten Puncte angeben.

11. Aber immer wird hier nur die Erleuchtung, die ein einziger Punct erhält, bestimmt, und man müßte die Erleuchtung eines größeren Theiles der Fläche, welche Licht empfängt, entweder dadurch suchen, daß man sie für viele einzelne Puncte berechnete, oder dadurch, daß man die Erleuchtung *eines* Punctes der Ebene als Function der Lage des Punctes ausdrückte, und durch Integration die Erleuchtung eines größeren Theiles der Fläche fände. Hätte man dieses gethan, so würde man durch Division mit der Größe der Fläche den mittleren Grad der Erleuchtung finden.

Um nur in einigen ziemlich einfachen Fällen diese Rechnung durchzuführen, sey BI eine Kugel, welche selbst leuchtend die ebene Kreisfläche FE erleuchtet. Der senkrechte Abstand AC des Kugelmittelpunctes von der erleuchteten Ebene sey $= a$, und die Senkrechte AC treffe des erleuchteten Kreises Mittelpunct; CE sey $= x$, der Kugel Halbmesser $= \varrho$, so ist von E aus gesehen, der Kugel scheinbarer Halbmesser gleich Fig. 195.

dem Winkel, dessen Sinus $= \frac{\varrho}{\sqrt{(a^2 + x^2)}}$ und folglich die Erleuchtung in $E = \frac{\pi . J . \varrho^2 .}{(a^2 + x^2)}$ Sin. $AEC = \frac{\pi J . a \varrho^2}{\sqrt{(a^2 + x^2)^3}}$.

Aber auf dem ganzen Ringe, dessen Halbmesser $= x$ ist, findet dieselbe Erleuchtung statt, so dafs die gesammte Erleuchtung oder die gesammte den Ring treffende Lichtmenge $= \frac{2\pi^2 x. dx. Ja\varrho^2}{\sqrt{(a^2+x^2)^3}}$ ist, folglich für den ganzen Kreis der Erleuchtung $= \frac{-2\pi^2 a J. \varrho^2}{\sqrt{(a^2+x^2)}} + C$

$$= 2\pi^2 J. \varrho^2 \left(1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}\right),$$

weil das Integral mit $x = 0$ verschwinden mufs. Die mittlere Intensität der Erleuchtung würde also, da des Kreises Inhalt $= \pi x^2$ ist, durch $\frac{2\pi J\varrho^2}{x^2}\left(1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}\right)$ ausgedrückt. Die gröfste Lichtmenge, welche die Ebene, wenn sie sich auch unendlich ausdehnte, erhalten könnte, wäre $= 2\pi^2 J\varrho^2$, und es ist der Mühe werth zu bemerken, dafs dieser Ausdruck gleich ist der absoluten Erleuchtung, multiplicirt mit dem Inhalt der halben Kugeloberfläche, welche auch eben zur Erleuchtung beiträgt[1].

12. Ein zweiter Fall, von dem wir sogleich Gebrauch machen werden, ist folgender. Ein sehr kleiner ebener Kreis, dessen Halbmesser $= \varrho$, sende Licht aus, um eine mit seiner Ebene parallele Ebene zu erleuchten; wie grofs ist die durch ihn bewirkte Erleuchtung für einen Kreis, dessen Mittelpunct von der aus dem Mittelpuncte des leuchtenden Kreises gegen beide Ebenen herabgelassenen Senkrechten liegt? Es stelle G
Fig. 196. den leuchtenden Kreis, AB die erleuchtete Kreisebene vor. Es sey $GC = a$, $CA = x$ der Halbmesser des erleuchteten Kreises, also $GA = \sqrt{(a^2+x^2)}$, ferner der Sinus des Emissionswinkels, unter welchem die Lichtstrahlen den Kreis G verlassen, $= \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}$ und eben so grofs der Neigungswinkel der bei A auffallenden Strahlen. Die Intensität des Lichtes in G sey $= J$, die Gröfse der Kreisfläche $= \pi\varrho^2$, die aber als sehr klein angenommen wird, damit für alle Puncte der Emissionswinkel derselbe sey. Da für den ganzen Ring, dessen Halbmesser $CA = x$ ist, die Umstände dieselben bleiben, und in jedem Puncte dieses Ringes die Erleuchtung =

1 Aehnliche Theoreme findet Lambert mehrere. §. 190. 196.

$$\pi \varrho^2 J . \frac{a^2}{a^2+x^2} . \frac{1}{(a^2+x^2)}, \text{ so ist}$$

die Erleuchtung für den ganzen Ring

$$= 2\pi x d x . \pi . \varrho^2 J . \frac{a^2}{(a^2+x^2)^2}, \text{ und}$$

die Ereuchtung für den ganzen Kreis AB

$$= C - \frac{\pi^2 \varrho^2 J . a^2}{a^2+x^2} = \pi^2 \varrho^2 J \left(1 - \frac{a^2}{a^2+x^2}\right)$$

weil die gesammte Erleuchtung mit $x=0$ verschwindet.

Dieser Ausdruck giebt die ganze vom Kreise AB aufgefangene Lichtmenge an, die folglich, selbst wenn AB unendlich wird, nie gröſser als $= \pi . \pi \varrho^2 J$. seyn kann, so daſs die Ebene AB dann eine eben so groſse Lichtmenge empfängt als ein ganz nahe an G gerückter Punct bei der absoluten Erleuchtung erhalten würde.

13. Bisher haben wir bloſs die Erleuchtung der vom Lichte getroffenen Ebene so bestimmt, daſs wir die Lichtmenge, welche auf sie fiel, angaben, ohne zu fragen, ob diese Erleuchtung immer auf gleiche Weise unserm Auge bemerkbar werde. Dieses ist nun keineswegs der Fall, sondern wenn zwei aus verschiedenen Materien bestehende, oder ungleich gefärbte Ebenen demselben Lichte auf gleiche Weise ausgesetzt werden, so daſs sie unstreitig einerlei Grad der Erleuchtung empfangen, so nimmt unser Auge dennoch einen verschiedenen und oft ungemein ungleichen Eindruck wahr. Am auffallendsten ist diese Ungleichheit, wenn eine der erleuchteten Ebenen weiſs, die andere schwarz gefärbt ist, wo bekanntlich bei völlig gleicher Erleuchtung die eine unserm Auge einen starken Glanz darbietet, während die andere uns dunkel erscheint. Wir legen daher den Körpern ein verschiedenes Vermögen bei, das empfangene Licht zurückzuwerfen, und so lange wir nicht von farbig erscheinenden Flächen reden, sondern nur von denen, die mehr oder minder weiſs, oder grau und endlich schwarz erscheinen, zeigt sich uns diese ungleiche Menge des zurückgeworfenen Lichtes, als ein ungleicher Grad der *Weiſse* (*albedo*) der Körper oder vielmehr ihrer Oberflächen.

Die an sich dunkeln Körper, welche nicht nach Art der Spiegel die Lichtstrahlen reflectiren, sondern nur vermöge der empfangenen Erleuchtung uns sichtbar werden, können offen-

bar nun selbst als leuchtende, Licht aussendende Körper angesehen werden, und wenn wir in jedem Falle angeben könnten, welchen Theil des empfangenen Lichtes sie wieder aussenden, so würde uns das ein richtiges Maſs der Weiſse geben. Flächen, die vollkommen eben so viel Licht aussenden, als sie empfangen haben, würden vollkommen weiſs heiſsen, oder eine *vollkommene Weiſse* (*albedo absoluta*) besitzen; andere dagegen, die nur die Hälfte, nur $\frac{1}{10}$ u. s. w. der empfangenen Lichtstrahlen hergäben, würden nach Verhältniſs dieser Lichtmenge einen immer geringeren Grad von Weiſse haben; *vollkommen schwarze* Körper würden die seyn, welche gar kein Licht wieder aussendeten.

14. Um diesen Grad der Weiſse zu bestimmen, oder den Bruch = A zu finden, mit welchem die empfangene Lichtmenge multiplicirt werden muſs, damit man die wieder ausgesendete Lichtmenge erhalte, kann folgendes Experiment dienen[1]. Es
Fig. 197. sei in L ein Licht so aufgestellt, daſs es die Fläche gγ, deren Weiſse man bestimmen will, bei G senkrecht erleuchte. Man lasse das von der erleuchteten Fläche wieder ausströmende Licht auf die convexe Glaslinse A B fallen, und stelle diese so, daſs sie in φ f das Bild der erleuchteten Fläche γg darstelle, und in derselben Ebene werde nun auch der Punct D durch das Licht L senkrecht erleuchtet. Wählt man nun die Stellung des Lichtes L so, daſs die directe Erleuchtung bei D eben so hell erscheine, als die Erleuchtung in der Mitte des Bildes φ f, so läſst sich die Weiſse der Fläche G oder der Werth des Bruches A bestimmen.

Hierbei kommt es auf die Weiſse der Ebene F D nicht an, vorausgesetzt, daſs diese bei F und D gleich ist; denn wenn die anscheinende Erleuchtung gleich ist, so ist auch die wahre Erleuchtung oder die Menge der empfangenen Lichtstrahlen gleich, wofern in F und in D ein gleicher Antheil des empfangenen Lichtes zurückgeworfen wird.

Heiſst nun die Intensität des von L ausgehenden Lichtes = J, so ist der Grad der Erleuchtung in G durch $\frac{J}{LG^2}$ bestimmt oder die auf einen kleinen Kreis vom Halbmesser = ϱ auffal-

1 Lambert §. 739.

lende Lichtmenge $= \frac{\pi \varrho^2 . J}{LG^2}$; und eben so die bei D auffallende Lichtmenge $= \frac{\pi . \varrho^2 . J}{LD^2}$.

Man wird die Stellung des Lichtes L und der Ebenen G und D leicht so wählen können, dafs der Winkel, um welchen $g\gamma$ gegen FD und gegen die Ebene des Kreises AB geneigt ist, unbedeutend sey, und also der kleine Licht aussendende Kreis bei G als mit der Querschnittsfläche des Brennglases parallel können angesehen werden; ist dann CG = a, CA = x, so empfängt die Kreisfläche AB eine Lichtmenge $= \pi^2 . \varrho^2 . i. \left(1 - \frac{a^2}{a^2 + x^2}\right)$ wenn i die Intensität des von dem sehr kleinen Kreise G ausströmenden Lichtes ist (nach No. 12). Dieses Licht wird nun zwar nicht ganz unvermindert durch das Glas durchgehen, aber man kann aus andern Versuchen den Lichtverlust angeben[1], oder den Bruch μ finden, mit welchem man jene Lichtmenge multipliciren mufs, um die durchgelassene Lichtmenge $= \pi^2 \varrho^2 . i . \mu \left(1 - \frac{a^2}{a^2 + x^2}\right)$ zu erhalten. Diese Lichtmenge wird in F auf einen kreisförmigen Raum gesammelt, dessen Halbmesser = z durch $\frac{z}{CF} = \frac{\varrho}{CG}$ gefunden wird, oder da CF : CG = Cotang. CFA : Contang. CGA, durch $z = \varrho$ Tang. CGA. Cotang. CFA gegeben wird. Die gesammte Menge des auf diesem Kreise gesammelten Lichts
$= \pi^2 \varrho^2 . i \mu .$ Sin.^{2} CGA,
dividirt durch $\pi \varrho^2$. Tang.^{2} CGA. Cotang.^{2} CFA giebt also die mittlere Erleuchtung des Bildes in F

$$= \pi . i \mu . \text{Cos.}^2 \text{CGA. Tang.}^2 \text{CFA},$$

oder weil Cos. CGA fast = 1 ist,

$$= \pi . i . \mu . \text{Tang.}^2 \text{CFA}.$$

Der Werth von i oder die Intensität der erleuchtenden Kraft des Kreises G mufs hier noch bestimmt werden. Wir haben oben gesehen, dafs (No. 12) die gesammte Lichtmenge die von einer unendlich ausgedehnten Ebene aufgenommen wird $= \pi^2 \varrho^2 . i$ war, wenn des Kreises $\pi \varrho^2$ Licht an Intensität = i

---

1 Vergl. Art. *Durchsichtigkeit*.

war. Aber diese gesammte aufgefangene Lichtmenge ist gleich der gesammten vom Kreise $\pi\varrho^2$ ausstrahlenden Lichtmenge, die wir offenbar $=\frac{\pi\varrho^2 A.J}{LG^2}$ setzen müssen, wenn $\frac{\pi\varrho^2.J}{LG^2}$ die empfangene Lichtmenge ist und A der Bruch, welcher den zurückgegebenen Antheil bestimmt, also

$$\pi^2.\varrho^2.i=\frac{\pi.\varrho^2.A.J}{LG^2},$$

$$\text{oder } \pi.i=\frac{A.J}{LG^2},$$

und der Grad der Erleuchtung in der Mitte des Bildes bei F $=$

$$\frac{\mu.A.J.\text{ Tang.}^2 CFA}{LG^2}.$$

Dieser Grad der Erleuchtung ist aber bei dem Versuche gleich dem Grade der directen Erleuchtung in D, $=\frac{J}{LD^2}$, folglich $A=\frac{LG^2.}{LD^2}.\frac{\text{Cotang.}^2 CFA}{\mu}$

$$\text{oder } A=\frac{LG^2.CF^2}{\mu.LD^2.CA^2}.$$

15. Lambert führt mehrere Versuche an, wo in G weisses Papier von vorzüglich weissem Ansehen das Licht auffing; die dabei gebrauchte Glaslinse liess $\frac{5}{6}=\mu$ der auffallenden Lichtstrahlen durch, und es war $CA=0{,}93$ Zoll. Wurde nun der Versuch so angeordnet, dass die Erleuchtung in F und D gleich erschien, so fand sich bei einem Versuche $GL=5$, $LD=65$, $CF=7{,}04$, also $A=0{,}408$; beide einem andern $GL=7$, $LD=90$, $CF=6{,}81$, $A=0{,}389$;
so dass die Weisse des schönsten Papiers kaum auf mehr als $A=\frac{2}{5}$ gesetzt werden konnte.

16. So wie hier die Weisse des Papiers gemessen wird, eben so könnte man auch die Röthe eines mit rother Farbe bestrichenen Papiers u. s. w. bestimmen. Indess bleibt es da etwas zweifelhaft, was man von den untermischten weissen Strahlen halten soll, welche doch auch von den farbigen Körpern zurückgeworfen werden. Eigentlich sollte bei solchen Versuchen nicht bloss die Fläche G so wie die Fläche DF roth bestrichen seyn, sondern das Licht L selbst sollte auch nur rothe Strahlen

geben, — was freilich schwer zu erreichen ist. Versuche hierüber hat Lambert angestellt [1].

Anwendungen dieser Lehren.

17. Viele Anwendungen dieser Untersuchungen erklären sich von selbst; ich will daher von der Erleuchtung irdischer Gegenstände nur zwei etwas mehr verwickelte Fragen erwähnen, und dann über die Erleuchtung der Himmelskörper noch etwas sagen. Die eine dieser Fragen ist in Beziehung auf belagerte Festungen von Kriegsverständigen aufgeworfen worden, die andere betrifft die Erleuchtung einer horizontalen Ebene bei der Dämmerung. Jene läſst sich so fassen: Wenn man in den Brennpunct eines parabolischen Brennspiegels ein Licht stellt, und dem Brennspiegel gegen über in bedeutender Entfernung eine zu erleuchtende Ebene aufstellt, wie groſs ist die Erleuchtung, welche sie empfängt? Oder umgekehrt: Man weiſs, daſs ein gewisser Grad von Erleuchtung nöthig ist; um in einer bestimmen Entfernung gewisse Gegenstände (z. B. vor der Festung die Arbeiten des Feindes) zu erkennen; wie groſs muſs der Brennspiegel seyn, durch den man eine solche Erleuchtung auf den Gegenstand werfen könnte? — Die Frage ist nicht so leicht zu beantworten, wenn man auf die Gröſse des Lichtes, welches nicht im wahren Brennpuncte vereinigt ist, Rücksicht nehmen will, aber das ganze zu beobachtende Verfahren läſst sich aus dem Vorigen übersehen.

18. Wenn man diejenige Dämmerung, die durch einmalige Zurückwerfung der Lichtstrahlen sichtbar wird, als durch einen Kreisbogen begrenzt ansieht, und diesem leuchtenden Segmente am Horizonte eine überall gleiche Helligkeit beilegt, so wird die Erleuchtung (Nr. 9.), wenn die Höhe des Dämmerungsbogens $= \alpha$ ist, durch $\pi - \pi$ Cos. α ausgedrückt, wenn der Dämmerungsbogen sich nicht mehr bis an das Zenith erstreckt. Da es hier bloſs auf verhältniſsmäſsige Erleuchtung ankommt, so kann man sie also kurz $= 1 -$ Cos. α setzen, und es erhellet hieraus, warum die Erleuchtung um die Zeit so schnell abnimmt, wann der Dämmerungsbogen durch das Zenith geht [2]. Uebrigens kann die ganze Rechnung nur oberflächlich seyn, da

---

1 Photom. §. 757.

2 Vergl. Art. *Dämmerung*.

weder der vermöge der Hauptdämmerung glänzende Himmel überall gleich leuchtend ist, noch auch das, was der übrige Theil des Himmels zur Erleuchtung beiträgt, hier berücksichtiget wird.

19. Auf diesen Lehren beruht ferner die Bestimmung der Lichtstärke derjenigen Himmelskörper, die von der Sonne erleuchtet werden.

Wenn ein Planet der Sonne nicht genau gegenüber steht, so sehen wir nicht seine ganze erleuchtete Seite, sondern eine mehr oder minder vom vollen Kreise abweichende Phase, und diesen Fall will ich hier sogleich auflösen, da in ihm der besondre Fall, wo der Planet der Sonne gegenüber steht, mit enthalten ist.

Fig. 198. Es sey A B F G die ganze erleuchtete Hälfte des Planeten, so dafs D den Punct vorstellt, welchem die Sonne im Zenith steht. C D sey der gegen diesen Punct, C E der gegen den Beobachter oder gegen die Erde gerichtete Halbmesser. F E D G stelle also den Kreis vor, dessen Ebene durch Erde, Sonne und den Mittelpunct des Planeten geht, auf welchem 90° von E entfernt die Grenze der von der Erde aus sichtbaren Halbkugel liegt. A, B, sind die Pole dieses Kreises, A P M B, A q m B zwei unendlich nahe Kreise, für welche F M = y, E M = y — a ist, indem F E = a. Wir wollen zuerst die beiden Parallelkreise I P Q, I p q ziehen und nach der Quantität des von der kleinen Fläche P p Q q ausgesendeten Lichtes fragen. Dieser kleinen Fläche Dimensionen sind, wenn A P = x heifst, p P = d x und P Q = d y Sin. x, also der Inhalt P Q q p = d y d x. Sin. x. Aber die durch P Q q p bewirkte Erleuchtung hängt ab von der scheinbaren Gröfse der Fläche und der Intensität des ausgesendeten Lichtes. Die erstere wird bestimmt, indem man die wahre Gröfse der Fläche mit dem Sinus des Neigungswinkels der Gesichtslinie gegen dieselbe multiplicirt; dieser Sinus ist = Cos. E P

$$= \text{Cos. } EM. \text{ Cos. } MP = \text{Sin. } x. \text{ Cos. } (y - a),$$

also die scheinbare Gröfse der Fläche P p q Q

$$= d^2 z = dx. \text{ Sin.}^2 x. (dy \text{ Cos. } y \text{ Cos. } a + dy \text{ Sin. } y. \text{ Sin. } a)$$

wenn man den Halbmesser des Planeten = 1 setzt, oder

$$= dx. \text{ Sin.}^2 x. \text{ Sin.}^2 \sigma \,(dy \text{ Cos. } y \text{ Cos. } a + dy \text{ Sin. } y. \text{ Sin. } a)$$

wenn man den scheinbaren Halbmesser = σ setzt.

Die Intensität des von P Q q p ausgesendeten Lichts ist erstlich dem Quadrate des Sinus des scheinbaren Halbmessers der von dort aus gesehenen Sonne, zweitens dem Sinus des Nei-

gungswinkels der auffallenden Sonnenstrahlen, (welcher = Cos. DP = Cos. DM. Cos. MP = Sin. y. Sin. x ist) drittens der Weifse (albedo) der Planeten = A, proportional, also = A. Sin. x. Sin. y. Sin.^2 s, wenn s der dortige scheinbare Halbmesser der Sonne ist. Der gesammte sich dem Auge darbietende Glanz jener kleinen Fläche ist also $= d^2 q$
$= A.\ \text{Sin.}^3 x.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma.\ \text{Sin.}\, y.\ dx.\ \text{Cos.}\,(y - a)\, dy.$ und wenn man in Beziehung auf x so integrirt, dafs das Integral mit x zugleich verschwindet,

$$dq = A.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma \left(\frac{2}{3} - \text{Cos.}\, x + \frac{1}{3}\, \text{Cos.}^3 x\right) dy\ \text{Sin.}\, y\ \text{Cos.}\,(y - a),$$

oder bis $x = 180°$ genommen, so dafs das Integral sich auf die ganze Fläche APBQ bezieht

$$dq = \frac{4}{3}\, A.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma.\ (dy.\ \text{Sin.}\, y\ \text{Cos.}\, y\ \text{Cos.}\, a + dy\ \text{Sin.}^2 y.\ \text{Sin.}\, a),$$

endlich in Beziehung auf y integrirt, und das Integral von $y = 0$ an gerechnet,

$$q = \frac{4}{3}\, A.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma \left(\frac{1}{2}\, \text{Sin.}^2 y.\ \text{Cos.}\, a + \frac{1}{2}\, y\ \text{Sin.}\, a - \frac{1}{2}\, \text{Sin.}\, y\ \text{Cos.}\, y\ \text{Sin.}\, a\right)$$

$$= \frac{2}{3}\, A.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma \left(y\ \text{Sin.}\, a + \text{Sin.}\, y.\ \text{Sin.}\,(y - a)\right),$$

dieses Integral vollständig, nämlich bis an die Grenze der sichtbaren Halbkugel, wo $y - a = 90°$ ist, genommen, ist,

$$q = \frac{2}{3}\ A.\ \text{Sin.}^2 s.\ \text{Sin.}^2 \sigma \left(a\ \text{Sin.}\, a + \frac{1}{2}\, \pi\ \text{Sin.}\, a + \text{Cos.}\, a\right).$$

und damit wäre der gesammte Glanz des Planeten, so wie er dem Beobachter erscheint, ausgedrückt.

Der gesammte Glanz der Sonne würde nach eben den Regeln (Nr. 8)

$$= \pi.\ \text{Sin.}^2 S \text{ gefunden,}$$

wenn S ihr von der Erde gesehener scheinbarer Halbmesser ist.

20. Lambert wendet diese Rechnung auf den Mond an, und da für ihn nahe genug $S = s$ ist, so wird erstlich des Vollmondes gesammter Glanz $= \frac{2}{3}\, A.\ \text{Sin.}^2 \sigma.$ wenn man $\pi\ \text{Sin.}^2 S = 1$ setzt, indem hier $a = 90°$ ist.

Die Weiſse des Mondes kennen wir nicht, Lambert setzt sie $=\frac{1}{4}$, und darnach weil Sin. σ = Sin. 16′ = 0,00465 ist, der Glanz des Mondes = 0,0000036

$$= \frac{1}{277000}$$

des Glanzes der Sonne.

Zweitens. Wenn der Mond im Viertel ist, wäre a = 0[1]

$$q = \frac{2}{3} \frac{A\ \mathrm{Sin.}^2 \sigma}{\pi}$$

21. Eine ganz ähnliche Rechnung führt Olbers, um das Verhältniſs des Glanzes eines Sternes erster Gröſse zum Glanze der Sonne zu finden[2]. Aldebaran und Mars erschienen gleich glänzend, zu einer Zeit als der vorige Ausdruck den gesammten Glanz des Mars $= \frac{1}{96665100000}$ in Vergleichung gegen den Glanz der Sonne gab, wenn man die Weiſse des Mars $=\frac{1}{7}$ annimmt. Die Sonne hat also etwa 100000 Millionen mal so groſse Lichtstärke als Aldebaran. Daraus läſst sich leicht folgern, daſs unsere Sonne so weit, daſs ihr scheinbarer Durchmesser nur $\frac{6}{1000}$ einer Secunde betrüge, hinausgerückt, oder daſs sie 311000 Halbmesser der Erdbahn von uns entfernt seyn müſste, wenn sie eben so schwach leuchtend erscheinen sollte als Aldebaran uns erscheint. Obgleich nun hierbei mehrere Elemente, namentlich die albedo des Mars ungewiſs sind, so ist doch dieses Resultat merkwürdig, weil es die ungemein groſse Entfernung bestätigt, die wir, auch wegen der Kleinheit der jährlichen Parallaxe, den Fixsternen beilegen.

Merkwürdig ist auch das aus andern Vergleichungen der Planeten mit gleich hell erscheinenden Fixsternen, von Olbers hergeleitete Resultat, daſs Saturn und Uranus einen so hohen Grad von Weiſse $A = \frac{2}{5}$, fast der Weiſse des weiſsen Papiers gleich zu besitzen scheinen.

Auf ähnlichen Untersuchungen beruht die Beantwortung

1 Lambert. §. 1059.

2 von Zach Montl. Corresp. VIII. 297.

der Frage, wann der Planet Venus im gröſsten Glanze erscheint. *B.*

Erz.

Minera; Minéral; *Ore.* Hierunter versteht man 1. im weitesten Sinne alle Formen, in welchen die schweren Metalle natürlich vorkommen; 2. im engeren (wo sich *gediegen* Metall und *Erz* entgegengesetzt sind), alle natürlich vorkommende Verbindungen der schweren Metalle mit andern Stoffen, den *Vererzungsmitteln*, wie Schwefel, Chlor, Sauerstoff und Säuren, durch welche sie in den sogenannten *verlarvten* oder *vererzten* Zustand übergegangen sind; 3. und im engsten endlich bloſs die im Mineralreiche vorhandenen Schwefelmetalle. *G.*

Eudiometer.

Luftgütemesser, Oxygenometer, *Eudiometrum;* Eudiomètre; *Eudiometer.* Der Apparat, mittelst dessen das, in einem Gasgemenge enthaltene, Sauerstoffgas dem Maſse nach bestimmt wird. Es hat seinen Namen, *Eudiometer* (*εὔδιος*, heiter, warm, gut, von der Luft gebräuchlich, und *μέτρον*) von der ehemaligen irrigen Ansicht erhalten, als stehe die Heilsamkeit der Luft in einem geraden Verhältnisse mit ihrem Gehalte an Sauerstoffgas, so daſs durch Messung des Letztern auch ihre Güte bestimmt werden könne. Alle Materien, welche unter gewissen Umständen fähig sind aus einem Gasgemenge alles Sauerstoffgas aufzunehmen, und dasselbe in die feste oder tropfbar flüssige Form überzuführen und durch die entstandene Raumverminderung eine Messung des Sauerstoffgases möglich zu machen, eignen sich als *eudiometrische Mittel.* Vorzüglich bedient man sich jedoch derjenigen, bei denen die Bedingungen, unter welchen sie sämmtliches Sauerstoffgas aus dem Gasgemenge aufnehmen, leicht zu erfüllen sind, namentlich des Wasserstoffgases, des Phosphors, der hydrothionsauren Alkalien und des Salpetergases.

1. Volta's *Eudiometer.* Man fügt zu dem auf Sauerstoffgasgehalt zu prüfenden genau gemessenen Gasgemenge mehr Wasserstoffgas, als erforderlich ist, um allen Sauerstoff in Wasser zu verwandeln, miſst dann das Totalvolumen, und bewirkt die Vereinigung in einer starken Glasröhre, *der Verpuffungsröhre*, durch das Hindurchschlagen eines elektrischen Funkens.

Da sich hierbei 2 Mafs Wasserstoffgas mit 1 Mafs Sauerstoffgas zu Wasser verdichten, so beträgt das im Gase enthalten gewesene Sauerstoffgas genau $\frac{1}{3}$ von dem verschwundenen Luftraume.

Die Verpuffungsröhre ist entweder am obern Ende mit einem metallischen Knopfe verschlossen und man hat dann einen sich in eine Kugel endigenden Draht in die Röhre zu schieben, so dafs seine Kugel von der innern Fläche des Metallknopfes nicht sehr entfernt ist, so wird die der äufsern Fläche des Knopfes mitgetheilte El. zur Kugel überspringen. Oder: Das obere Ende des Eudiometers ist auf die Weise verschlossen, wie eine Luftpistole, so dafs der dem Knopfe mitgetheilte elektrische Funke durch einen mittelst einer Glasröhre isolirten Draht bis aus Gasgemenge gelangt, und von hieraus zum äufseren Metalle überschlägt. Oder: Es sind zwei, im Innern sich berührende Platindrähte in dem obern Theile der, übrigens zugeschmolzenen, Verpuffungsröhre luftdicht befestigt, und indem man mit dem Zeigefinger der einen Hand, welche die Röhre hält, das äufsere Ende des einen Drahtes berührt, nähert man mit der andern einen elektrischen Körper dem äufseren Theile des andern Drahtes. Diese Platindrähte sind entweder mit Siegellack in Löchern der Verpuffungsröhre befestigt, oder besser eingeschmolzen. Letzteres geschieht folgendermafsen. Man richtet auf einen 0,5 Zoll vom Ende der Röhre entfernten Punct die Spitze der Löthrohrflamme, während ein Anderer in die Röhre bläfst, und dadurch den erweichten Theil des Glases zu einem Knopfe auftreibt, welcher bei weiterem Blasen platzt, oder mittelst eines Glasstäbchens in eine Spitze ausgezogen werden kann, welche man abbricht. In diese Oeffnung legt man ein kleines Stück vom feinsten im Handel vorkommenden Platindrahte, so dafs dieses zur Hälfte aus der Oeffnung herausragt. Dann schmelzt man sie vor der Glaslampe zu, und befördert durch oft wiederholtes in die Höhe Blasen dieser Stelle und nachheriges Einschmelzen die gleiche Vertheilung des Glases um den Draht herum, ohne welche beim Erkalten Risse entstehen würden. Auf dieselbe Weise schmelzt man entweder an der dem Drahte (in gleicher Höhe der Röhre) entgegengesetzten Stelle einen zweiten Draht ein, so dafs beide Drähte eine gerade Linie mit einander machen; oder im oberen Ende, so dafs beide Drähte einen rechten Winkel mit einander bilden.

Während dieses Schmelzens hat man beiden Drähten die gehörige Richtung und Entfernung zu ertheilen. Endlich kann der äufsere Theil derselben abgebrochen werden.

Die Verpuffungsröhre darf nicht zu eng seyn, sonst pflanzt sich wegen der abkühlenden Wirkung der Wände die Verbrennung besonders in dem Falle nicht durch die ganze Masse fort, wenn die Menge des Sauerstoffgases in dem Gasgemenge wenig beträgt. Je weiter sie dagegen ist, um so dicker müssen ihre Wandungen seyn, um das Zerspringen unmöglich zu machen, und da sie bei zu grofser Weite keine genaue Messung zuläfst, so müssen in diesem Falle die Messungen vor und nach dem Versuche mittelst einer andern graduirten Röhre vorgenommen werden, was ein zweimaliges Umfüllen des Gases und damit eine gröfsere Unsicherheit des Versuches veranlafst. Röhren von 0,5 Zoll im Durchmesser sind am angemessensten und dienen zugleich zum Verpuffen und zum Messen.

Hält ein Gasgemenge sehr wenig Sauerstoffgas z. B. unter 0,1, so verpufft es mit Wasserstoffgas nicht oder nur unvollständig, weil das fremdartige Gas vermöge seiner abkühlenden Wirkung die Fortpflanzung der durch den elektrischen Funken veranlafsten Verbrennung hindert. In diesem Falle mufs man demselben eine abgemessene Menge von Sauerstoffgas hinzufügen, dessen Reinheit man zuvor durch einen andern eudiometrischen Versuch bestimmt hat. Fügt man dann überschüssiges Wasserstoffgas hinzu und entzündet, so ist die Menge des im Gasgemenge enthaltenen Sauerstoffgases gleich $\frac{1}{3}$ des verschwundenen Gases, weniger dem reinen Sauerstoffgase, welches in dem zugefügten enthalten war.

Das anzuwendende Wasserstoffgas mufs frei von Sauerstoffgas seyn, weil man sonst zu viel Sauerstoffgas finden würde. Man bringt daher in ein kleines Fläschchen ein Zinkstück, füllt es fast ganz mit ausgekochtem Wasser, dann noch vollends mit Schwefelsäure, vereinigt es unter Wasser mit der zuvor mit Wasser gefüllten Gasentwickelungsröhre, und leitet das so nach dem Austreiben des Wassers aus dem letztern hervortretende Gas unmittelbar zu dem zu prüfenden Gasgemenge. Auch kann man solchem Wasserstoffgase, welches Sauerstoffgas enthält, dasselbe über Quecksilber durch Platinschwamm entziehen, welcher es bei längerem Einwirken in Wasser verwandelt. Was-

serstoffgas, welches Kohlenstoff enthält, bewirkt, daſs die Sauerstoffgasmenge zu geringe gefunden wird, weil ein Theil des Sauerstoffgases als kohlensaures Gas dem nach dem Verpuffen übrigen Gase beigemengt bleibt. Daher wird das aus Zink erhaltene Wasserstoffgas dem aus Eisen dargestellten vorgezogen; auch bleibt das Kohlige ganz oder gröſstentheils unverbrannt, wenn das Wasserstoffgas in einigem Ueberschuſs zugesetzt wird, so daſs auf 1 Maſs Sauerstoffgas gegen 3 Maſse Wasserstoffgas kommen.

Am besten ist es, die Verpuffung über Quecksilber vorzunehmen; verfährt man über Wasser, so ist Irrthum möglich. Denn man darf sich nicht des ausgekochten Wassers bedienen, welches einen Theil des Gasgemenges absorbiren und dadurch bewirken würde, daſs man zu viel Sauerstoffgas fände. Verpufft man über lufthaltigem Wasser in einer verschlossenen Röhre, so wird im ersten Augenblicke der Explosion zwar ein geringer Theil des Gasgemenges in das Wasser gedrückt; bei der darauf folgenden Abkühlung dagegen entwickeln sich, weil das übrige Gas bedeutend verdünnt ist, viele Luftblasen aus dem Wasser, um den entstandenen leeren Raum auszufüllen, ehe man Zeit hat, die Röhre unten zu öffnen, und man wird zu wenig Sauerstoffgas finden. Beim Verpuffen in einer unten offenen Röhre mag sich das zuerst hineingepreſste und dann wieder heraustretende Gas der Menge nach eher das Gleichgewicht halten, und dieses Verfahren ist vorzuziehen, nur darf das Gasgemenge keinen zu groſsen Raum in der Röhre einnehmen, damit es bei der Verpuffung nicht zum Theil heraustrete. Manche ziehen es vor, die Röhre unten mit einem sich nach Innen offnenden Ventile zu versehen, so daſs im Augenblicke der Verpuffung kein Wasser heraustreten, aber bei der folgenden Abkühlung Wasser hineintreten kann, um den leer gewordenen Raum zu füllen. Hier kann jedoch im Momente der Explosion Gas ins Wasser gepreſst werden.

Das Volta'sche Eudiometer ist eines der sichersten; nur paſst es nicht wohl zur Untersuchung solcher Gasgemenge, welche neben Sauerstoffgas zugleich brennbare Gasarten enthalten.

2. DÖBEREINER's *Eudiometer.* Man leitet zu dem Sauerstoffgas haltenden Gasgemenge ebenfalls Wasserstoffgas in Ueberschuſs, veranlaſst jedoch die Verbindung des Wasserstoffes

mit dem Sauerstoffe nicht durch den elektrischen Funken, sondern durch *Platin*.

Man formt kleine Kugeln aus *Platinsalmiak* und wenig Thon, oder aus dem nach dem Glühen des Platinsalmiaks bleibenden schwammigen Platin, Salmiak und wenig ($\frac{1}{2}$ des Platins betragenden) Thon, und glüht sie hinaus. Läfst man eine solche, an das Ende eines Platindrahtes befestigte, Kugel in das mit Wasserstoffgas gemengte, durch Quecksilber gespannte, Sauerstoffgas haltende, Gasgemenge treten, so veranlafst es allmälig die Wasserbildung, selbst wenn das Gasgemenge blofs ein Procent Sauerstoffgas hält. Zeigt sich nach einer oder einigen Stunden keine weitere Abnahme des Gasvolumens, so zieht man die Platinkugel am Draht heraus, und berechnet das Sauerstoffgas wieder zu $\frac{1}{3}$ des Verschwundenen. Der während des Versuchs etwa veränderte Barometer- und Thermometerstand ist mit in Rechnung zu bringen. Dieselbe Platinkugel läfst sich vielmals zu demselben Zwecke anwenden, wenn sie jedesmal zuvor ausgeglüht wird.

3. ACHARD's, BERTHOLLET's und PARROT's *Eudiometer*. Man bringt das zu untersuchende Gas mit Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur in Berührung, bis dessen langsame Verbrennung aufhört.

Man bringt das zu prüfende gemessene Gas in einen kleinen Kolben, oder in eine kurze weite Glasröhre und fügt hierzu eine Stange Phosphor, so dafs sie dem Gase möglichst viel Berührung darbietet. Enthält das Gasgemenge fast reines Sauerstoffgas, so erfolgt die langsame Verbrennung des Posphors nicht bei gewöhnlicher Temperatur, und da Erwärmung bald eine lebhafte Verbrennung herbeiführen würde, so hat man in diesem Falle eine bestimmte Menge reinen Stickgases hinzuzufügen, welches auf eine noch nicht genügend erklärte Weise die langsame Verbrennung bei niederer Temperatur einleitet. Man sperrt das Gas am besten mit Quecksilber, weil Wasser bei der längern Dauer des Versuchs Gas aufnehmen oder auch entwickeln könnte, jedoch hat man bei der Sperrung mit Quecksilber ein wenig Wasser hinzuzufügen, weil ohne dieses die gebildete Säure des Phosphors in fester Gestalt den übrigen Phosphor bedecken und so seine weitere Ver-

brennung hindern würde. Bemerkt man nach 6 bis 24 Stunden keine Nebenbildung mehr beim Lichte und kein Leuchten mehr im Dunkeln, so ist alles Sauerstoffgas absorbirt, und das übrige Gas kann zum Messen in die Meſsröhre übergeführt werden. Das Verschwundene ist das Sauerstoffgas. Da jedoch das übrige Gas, es sey Stickgas oder anderes, durch Aufnahme von Phosphordampf einige Ausdehnung erhalten hat, welche nach Berthollet's (noch genauer zu prüfender) Angabe beim Stickgas $\frac{1}{40}$ betragen soll, so hätte man vom zurückgebliebenen Gase noch $\frac{1}{41}$ als Sauerstoffgas zu betrachten. Auf jeden Fall ist bei der langen Dauer des Versuchs der etwa eingetretene Wechsel der Temperatur und des Luftdruckes zu berücksichtigen.

4. Séguin's *Eudiometer* beruht auf der Entziehung des Sauerstoffgases durch rasches Verbrennen des Phosphors.

Man füllt eine oben zugeschmolzene, kurze, weite, aus dünnem Glase verfertigte Röhre mit Quecksilber, stürzt sie über Quecksilber um, läſst ein Stückchen Phosphor hinaufsteigen, erhitzt dieses durch eine von auſsen daran gehaltene Kohle bis über den Schmelzpunct und läſst nun aus einem kleinen Kolben, in welchem sich eine abgemessene Menge des zu prüfenden Gases befindet, einzelne Blasen desselben in die Röhre steigen. Jede derselben wird Verbrennung des Phosphors bewirken, wenn man fortfährt, denselben von auſsen zu erhitzen. Die Feuerentwickelung ist jedoch bei diesem allmäligen Hinzulassen des Gases nicht bedeutend genug, um ein Zerspringen der Röhre zu veranlassen. Ist alles Gas hineingetreten und der Phosphor noch eine kurze Zeit erhitzt worden, so kann man sogleich den abgekühlten Gasrückstand in die Meſsröhre überführen.

5. Scheele's und de Marty's *Eudiometer*. Man entzieht das Sauerstoffgas durch Schütteln mit einer wässerigen Lösung eines hydrothionsauren oder hydrothionigsauren Alkalis. Hierbei tritt der Sauerstoff bekanntlich theils an den Wasserstoff der hydrothion- oder hydrothionigen Säure, theils an den Schwefel. Es wird entweder gewöhnliche Kalischwefelleber in Wasser gelöst, oder Schwefel mit gelöschtem Kalke und Wasser gekocht und filtrirt. Beide Auflösungen müssen

concentrirt und mit Stickgas gesättigt seyn, damit sie nicht auch dieses aus dem Gasgemenge absorbiren. Dieses findet statt, wenn man die Schwefelleber in der Kälte in lufthaltigem Wasser gelöset, oder wenn man die in der Hitze bereiteten Lösungen der Kali- oder Kalkverbindung längere Zeit mit Luft geschüttelt hat. Man leitet das in einer Röhre gemessene Gas in eine mit der Auflösung gefüllte Flasche, in welche bisweilen nach der *Hope'schen* Art) die Meſsröhre eingeschmirgelt ist, o daſs es hierzu bloſs des Zusammensteckens und Umkehrens edarf, und schüttelt gegen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden lang, oder läſst n der Ruhe unter seltenerm Bewegen die Einwirkung 12 bis 4 Stunden lang dauern. Auf jeden Fall öffnet man jedoch as Gefäſs öfters bei nach unten gekehrter Oeffnung, unter Vasser, damit dieses eindringen und den durch die Absorption ntstandenen leeren Raum ausfüllen könne, weil sonst die chwefelleberauflösung Stickgas entwickeln würde. Die Volumensverminderung zeigt unmittelbar die Menge des verschluckten Sauerstoffgases an. — Dieses Eudiometer ist nebst dem *Volta'schen* und *Döbereiner'schen* das sicherste.

6. Fontana's *Eudiometer*. Man bestimmt die Menge des auerstoffgases durch die Volumensverminderung, welche das *alpetergas* in dem Gasgemenge veranlaſst.

Das Salpetergas hat das Bequeme, daſs es bei gewöhnlicher emperatur augenblicklich allen Sauerstoff aus einem Gasgemenge aufnimmt und verdichtet. Daher ist es auch in früherer eit vorzugsweise als eudiometrisches Mittel gebraucht worden, is man sich später von seiner Unsicherheit und Unbrauchbareit zu genauen Bestimmungen überzeugt hat. Denn es kann ich, je nach den Umständen, mit sehr verschiedenen Mengen on Sauerstoffgas verbinden, und es läſst sich deshalb nicht allemein angeben, der wievielste Theil des verschwundenen Gasolumens als Sauerstoffgas in Rechnung zu bringen ist. 200 laſse Salpetergas nämlich verdichten sich mit 50 Maſsen Sauerstoffgas zu untersalpetriger, mit 100 zu salpetriger und mit 150, s dem Maximum des Sauerstoffs zu Salpetersäure. Im ersten alle beträgt das Sauerstoffgas $\frac{1}{5}$, im zweiten $\frac{1}{3}$, im letzten $\frac{3}{7}$ es verschwundenen Gasvolumens. Bringt man in eine Röhre erst das Sauerstoffgas haltende Gemenge, darauf das Saletergas, so muſs die Verbindung von Sauerstoff und Salpeter-

gas, welche sich an dem Orte der Berührung erzeugt, an den Wandungen der Röhre herabfliefsen und sich noch vollends mit Salpetergas beladen, also sich in salpetrige und untersalpetrige Säure verwandeln; kommt umgekehrt das sauerstoffhaltende Gemenge zuletzt in die Röhre, so fliefst die neue Verbindung in Berührung mit diesem herab, und verwandelt sich gröfstentheils in Salpetersäure. Auch das Wasser, welches bei einer grofsen Weite des Gefäfses und beim Schütteln stärker einwirkt, begünstigt die Bildung der Salpetersäure wegen seiner gröfsern Affinität zu derselben u. s. w. Es darf uns daher nicht Wunder nehmen, dafs man nach Scherer von dem verschwundenen Gase $\frac{1}{5}$ als Sauerstoffgas betrachten soll, nach Ingenhouss $\frac{10}{45}$, nach Gay-Lüssac, wofern man die Mischung in einem weiten Gefäfse vor sich gehen läfst, und nicht schüttelt, $\frac{1}{4}$, nach Humboldt $\frac{10}{86}$ nach Lavoisier $\frac{100}{272}$ bis $\frac{100}{383}$, nach Priestley $\frac{100}{279}$, nach Hildebrandt $\frac{1}{3}$ und nach Dalton $\frac{1000}{2714}$ bis $\frac{1000}{4428}$ und dafs mit Hülfe dieses Eudiometers ehedem so falsche Bestimmungen über den Sauerstoffgasgehalt der Luft gegeben worden sind.

7. Davy's *Eudiometer.* Man bestimmt die Raumabnahme, welche ein Gasgemenge beim Schütteln mit einer mit *Salpetergas gesättigten Eisenvitriollösung* erleidet.

Eisenvitriol, in Wasser gelöset, absorbirt eine grofse Menge von Salpetergas, die Auflösung erhält eine grünbraune Farbe und die Eigenschaft, das Sauerstoffgas schnell zu verschlucken. Man verfährt, wie beim Schwefellebereudiometer. Ehe man jedoch den Gasrückstand mifst, schüttelt man ihn noch mit einer Eisenvitriollösung, welche das Salpetergas absorbirt, welches etwa aus der ersten Lösung in das Gas übergetreten war. Die Raumverminderung kommt rein auf Rechnung des Sauerstoffgases. Die Menge desselben wird jedoch leicht zu klein gefunden, weil das vom Eisenvitriol absorbirte Salpetergas allmälig durch denselben zersetzt wird und Stickgas in das zu prüfende Gas austreten läfst. *G.*

Expansibilien.

Expansibele, ausdehnsame oder elastische Flüssigkeiten; *Fluida elastica;* Fluides aériformes, ou expansibles; *Expansible or elastic fluids;* könnte man diejenigen Flüssigkeiten nennen, welchen die Eigenschaft der *Expansion* oder *Expansibilität* zukommt, nämlich die Gasarten und Dämpfe. Weil aber diese Bezeichnung noch nicht übereinstimmend in der deutschen Sprache aufgenommen ist, die Eigenschaft aber, worauf sie sich gründet, den beiden letzteren Flüssigkeiten gemeinschaftlich zukommt, so ist es besser, sie ganz wegzulassen und demjenigen Sprachgebrauche ein bleibendes Ansehn zu verschaffen, welcher rücksichtlich dieser beiden Flüssigkeiten im Artikel *Dampf* in Vorschlag gebracht ist. *M.*

Expansion.

Expansibilität, permanente oder absolute Elasticität; *Expansio seu elasticitas*; Expansion; *Expansion*; bezeichnet theils den Zustand des Ausgedehntseyns der expansibelen oder sogenannten elastischen Flüssigkeiten, theils die diesen inwohnende eigenthümliche Kraft, oder vielmehr das Bestreben, sich gegen die Einwirkungen äußerer Zusammendrückungen in einen gröſseren Raum auszudehnen. Nach der im Art. *Elasticität* festgesetzten Bedeutung des Wortes können die expansibelen Flüssigkeiten nicht elastisch genannt werden, und auf gleiche Weise ist im Art. *Dampf* gezeigt, daſs der eigenthümliche Charakter der Expansibilität in demjenigen Umfange, wie ihn das bekannte *Mariotte'sche Gesetz* fordert, nach den bisherigen Versuchen bloſs einigen Gasarten eigenthümlich zukommt. Indem aber die durch dieses Gesetz bezeichnete Eigenschaft der Expansion oder Expansibilität vorzugsweise zu den Eigenthümlichkeiten und in gewisser Hinsicht zum Wesen der Gasarten gehört, so ist es am besten, sie im Artikel *Gas* näher zu untersuchen. Fragt man endlich nach dem Unterschiede der Wortbedeutungen *Expansion* und *Expansibilität*, so ist derselbe zwar nicht genau fixirt, im Allgemeinen aber bedeutet das erstere mehr den bleibenden Zustand des Ausgedehntseyns, das letztere dagegen das Bestreben,

gegen die Einwirkung äufsererer Zusammendrückung stets einen gröfseren Raum einzunehmen, womit dann die Ausdrücke expandirt und expansibel übereinstimmen. Genau genommen sind diese Bedeutungen der Etymologie nicht völlig angemessen, vielmehr würde es hiernach am richtigsten seyn, dasjenige, was man bisher durch Expansion und Expansibilität ausdrückt, mit Elasticität, letztere Eigenschaft aber durch *Federkraft* zu bezeichnen. *M.*

Experiment. S. *Versuch.*

Experimentalphysik. S. *Naturlehre.*

(Ende des dritten Bandes.)

Bei dem Verleger dieses, so wie in allen Buchhandlungen ist zu haben:

Adams, Georg, Versuch über die Elektricität, worin Theorie und Ausübung dieser Wissenschaft durch eine Menge methodisch geordneter Experimente erläutert wird, nebst einem Versuch über den Magnet. Aus dem Engl. mit 6 Kupfertafeln. gr. 8. 1 Thlr.

Bailly, Geschichte der Sternkunde des Alterthums bis auf die Errichtung der Schule zu Alexandrien. Aus dem Franz. 2 Bände mit Kupfern. gr. 8. 1 Thlr. 18 gr.

— — Geschichte der neuern Astronomie 1r Bd., von der Stiftung der Alexandrinischen Schule bis zu ihrem Untergange. Mit 13 Kupf. gr. 8. 1 Thlr. 8 gr.

— — zweiter Band, vom Untergange der Alexandrinischen Schule bis Kepler. gr. 8. 1 Thlr.

Barneveld, Wilhelm van, medicinische Elektricität. Aus dem Holländischen mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 20 gr.

Baukunst, Grundsätze der bürgerlichen, von Milizia, übers. u. m. Anmerk. begleitet von C. L. Stieglitz. 3 Thle. Mit 35 Zeichnungen. gr. 8. 5 Thlr. 8 gr.

Bertholon, de St. Lazare, Hr. Abt, über die Elektricität, in Beziehung auf die Pflanzen; die Mittel, die Elektricität zum Nutzen der Pflanzen anzuwenden u. s. w. Nebst der Erfindung eines Elektrovegetometers, mit 3 Kupfert. gr. 8. 1 Thlr.

Bicquilley, C. F. von, die Rechnung des Wahrscheinlichen. Aus dem Franz. übersetzt nnd mit Anmerkungen versehen von C. F. Rüdiger. gr 8. 1 Thlr.

Cavallo, Tiberius, Abhandlung über die Eigenschaften der Luft und der übrigen beständig elastischen Materien, nebst einer Einleitung in die Chemie. Aus dem Engl. übersetzt mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 2 Thlr.

— — Geschichte und Praxis der Aerostatik. Aus dem Engl. übers. Mit 2 Kupfert. gr. 8. 16 gr.

— — Theoretische und praktische Abhandlung der Lehre von Magnet mit eignen Versuchen. Aus dem Engl. übersetzt. Mit 2 Kupfern. gr. 8. 16 gr.

Cuthberson's, J., Abhandlung von der Elektricität, nebst einer genauen Beschreibung der dahin gehörigen Werkzeuge und Versuche. Aus dem Holländ. mit 11 Kupfert. gr. 8. 1 Thlr. 12 gr.

— — Dritte Fortsetzung mit einigen Zusätzen: gr. 8. 12 gr.

Hennicke, Druck = und Tafelfarben, ächte kalte, auf Mousselin und Cattun. Nebst der türkischen seidenen Tücher = und Baumwollenfärberey. 8. 8 gr.

— — Die Kunst des Farbenfabrikanten, oder Anweisung mehrere Mineral = Lack = und Waschfarben zu verfertigen. Verfaßt von einem Praktiker, herausgegeben und mit Zusätzen vermehrt von einem Theoretiker. 8. 1 Thlr.

Hindenburg, C. Fr., über Combinatorische Analysis und Derivations-Calcul, einige Fragmente, gesammelt und zum Druck befördert. gr. 8. 2 Thlr.

Kramp Analyse de Refractions Astronomiques et Terrestres. gr. 4. 2 Thlr.

Marum, M. van, Beschreibung einer ungemein großen Elektrisirmasch und der damit im Taylorischen Museum zu Harlem angestellten V suche. Aus dem Holländ. übersetzt. Mit Kupfert. gr. 4. 3 Th 5 Thlr. 6

Michelson, W., und Gregory vollständige Anleitung zur Kenntniß der g zen Natur. 3 Thle. Aus dem Engl. mit Kupf. gr. 8. 5 T

Ochsenheimer, die Schmetterlinge Sachsens mit Rücksichten auf alle kaunte europäische Arten. gr. 8. 2 T

Plan zur Anlegung und Einrichtung einer zweckmäßigen und geschlossi Hoferaithe nebst dazu gehörigem Grund und Aufrisse. Mit 8 Kupf. 2 T

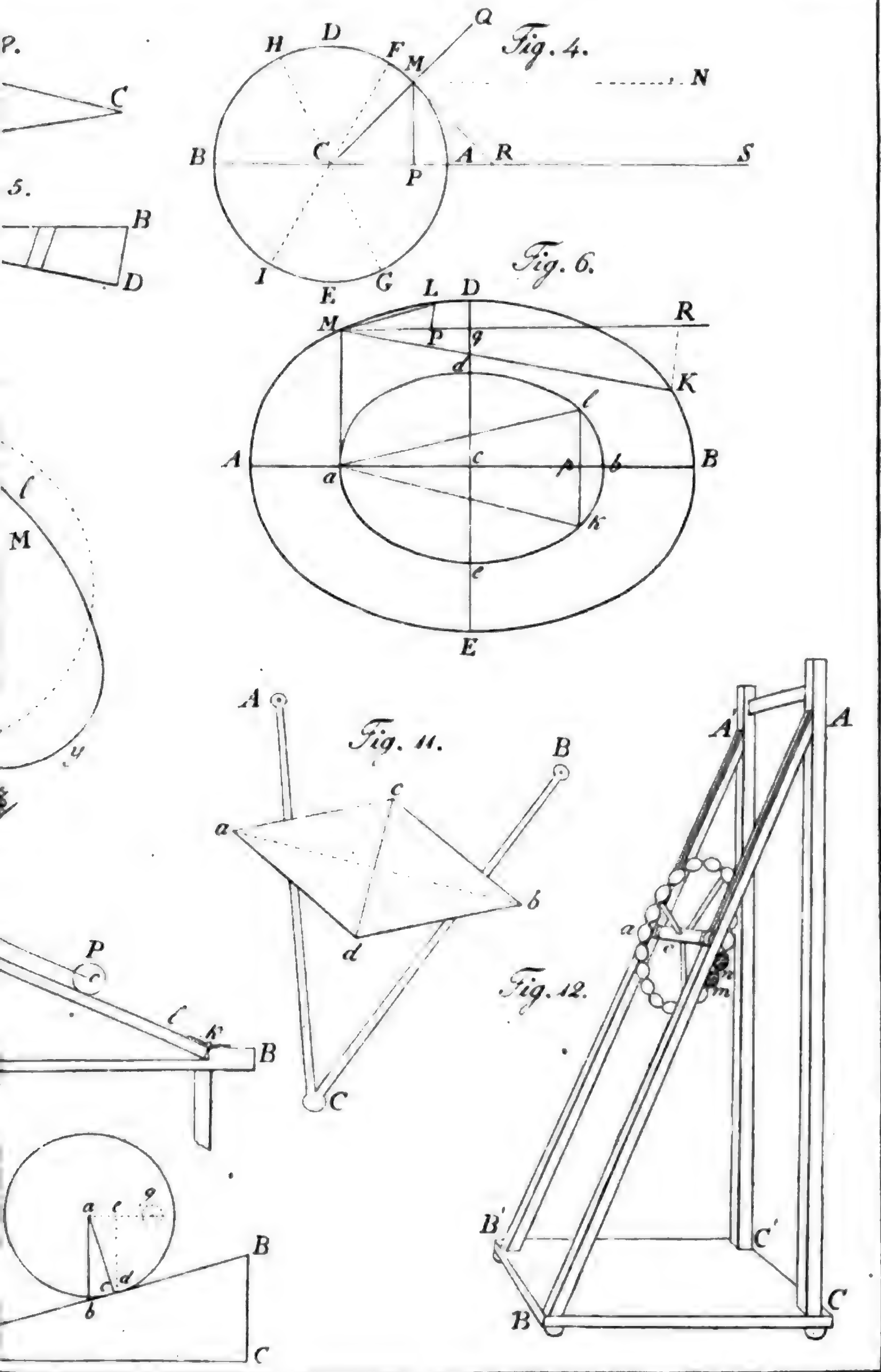
Rüdiger, C. F., Immerwährender Kalender, nebst einer Ostertabelle die Jahre nach Christi Geburt 1 bis 2700. zweyte vermehrte Aufl gr. 8. 20

Späth, J. L., Abhandlung zu Berechnung des Grades der Genauig mit welcher auf einem Mauerquadranten nach John Birds und G Friedr. Branders Theilungsmethode die Abtheilung der Theilkreis die 90. uud 96. Theilung vollführt werden kann, nebst einer Ku tafel. 8. 12

— — Photometrische Untersuchung über die Deutlichkeit, mit welcher entfernte Gegenstände vermittelst dioptrischer Fernröhre beobachtet nen, in Anwendung dieser Theorie auf die Zuverlässigkeit, mit wel vermittelst eines Heydleyschen Spiegelsextanten Winkel zu Wasser und Lande können abgemessen werden, wie auch über die Zuverlässigkeit, welcher vermittelst dieses Instruments, und einem neu erfundenen C nometer v. Thomas Mudge oder Joseph Emery die geographische L eines Orts bestimmt werden kann. 4. 16

Watsons, D., chemische Versuche. 2 Thle.; aus dem Engl. übers., mit einigen Anmerkungen begleitet von Fr. A. Gallisch. gr. 8. 1 T





Ant. Karcher Sc.

Marum, M. van, Beschreibung einer ungemein großen Elektrisirmas[chine] und der damit im Taylorischen Museum zu Harlem angestellten [Ver]suche. Aus dem Holländ. übersetzt. Mit Kupfert. gr. 4. 3 [Thle.] 5 Thlr.

Nichelson, W., und Gregory vollständige Anleitung zur Kenntniß de[r gan]zen Natur. 3 Thle. Aus dem Engl. mit Kupf. gr. 8. 5

Ochsenheimer, die Schmetterlinge Sachsens mit Rücksichten auf al[le be]kannte europäische Arten. gr. 8. 2

Plan zur Anlegung und Einrichtung einer zweckmäßigen und geschi[ckten] Hoferaithe nebst dazu gehörigem Grund und Aufrisse. Mit 8 Ku[pf.] 2

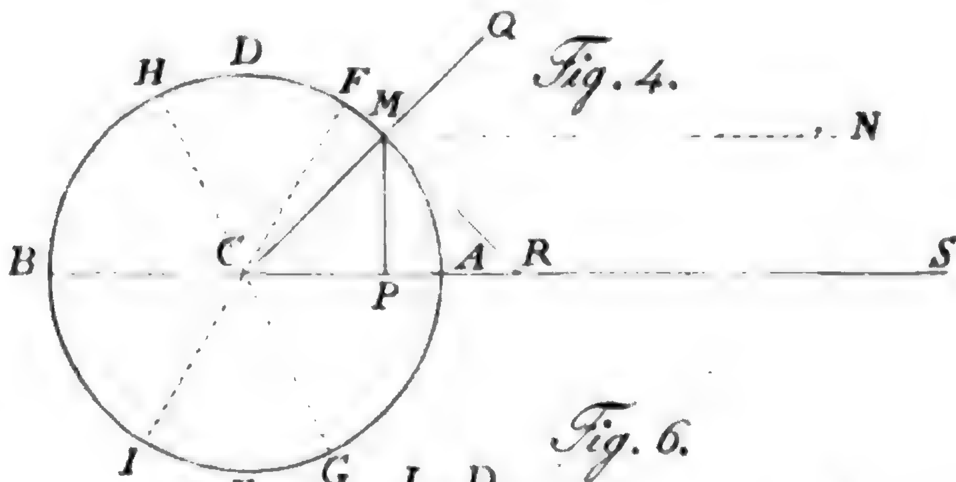
Rüdiger, C. F., Immerwährender Kalender, nebst einer Ostertabel[le für] die Jahre nach Christi Geburt 1 bis 2700. zweyte vermehrte Au[fl.] gr. 8.

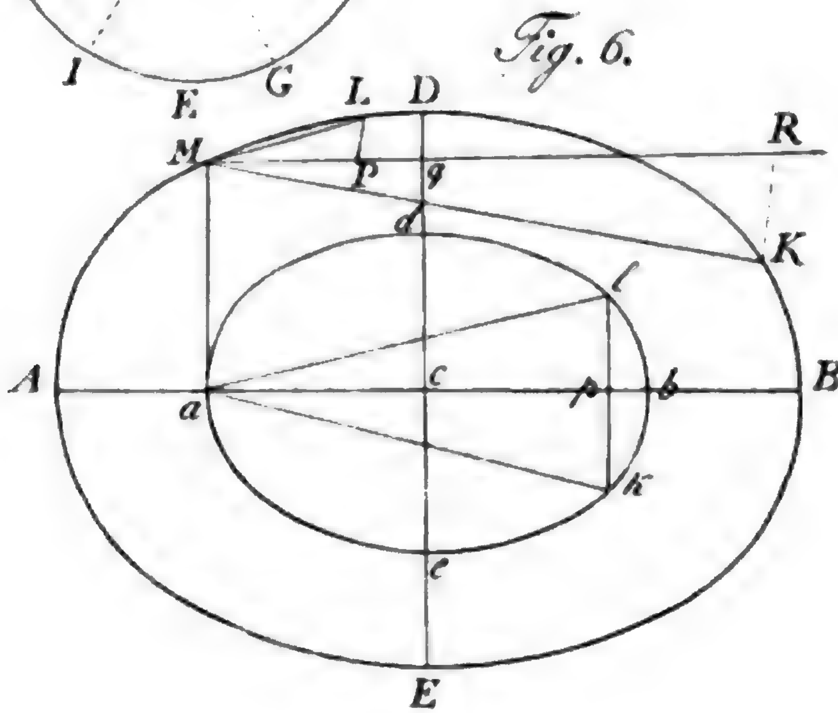
Späth, J. L., Abhandlung zu Berechnung des Grades der Genau[igkeit,] mit welcher auf einem Mauerquadranten nach John Birds und Friedr. Branders Theilungsmethode die Abtheilung der Theilkrei[se in] die 90. und 96. Theilung vollführt werden kann, nebst einer K[upfer]tafel. 8.

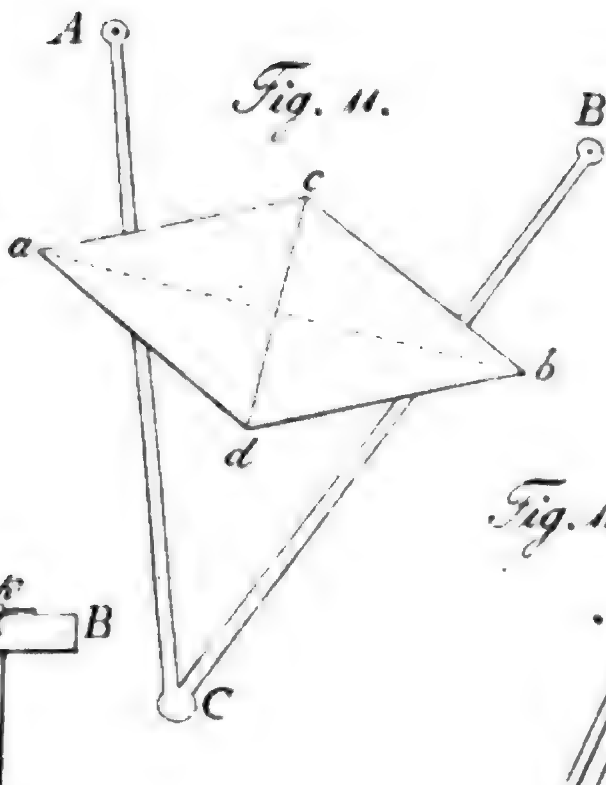
— — Photometrische Untersuchung über die Deutlichkeit, mit welche[r] entfernte Gegenstände vermittelst dioptrischer Fernröhre beobachtet [werden kön]nen, in Anwendung dieser Theorie auf die Zuverlässigkeit, mit w[elcher] vermittelst eines Heydleyschen Spiegelsextanten Winkel zu Waßer u[nd zu] Lande können abgemessen werden, wie auch über die Zuverlässigkeit, [mit] welcher vermittelst dieses Instruments, und einem neu erfundenen C[hro]nometer v. Thomas Mudge oder Joseph Emery die geographische [Länge] eines Orts bestimmt werden kann. 4.

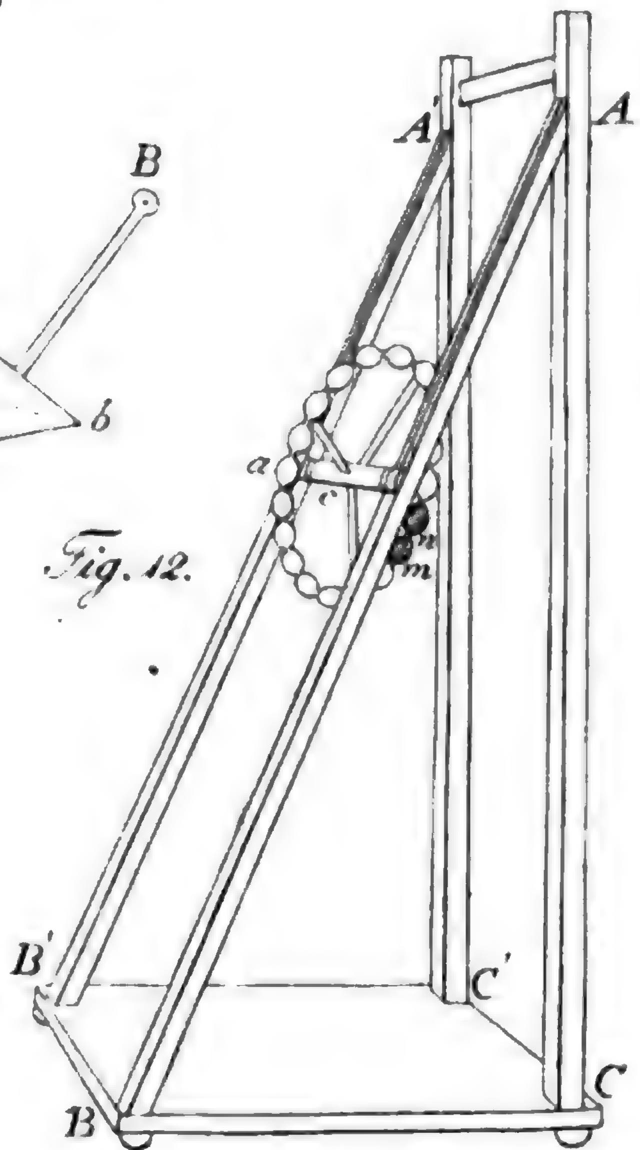
Watsons, D., chemische Versuche. 2 Thle.; aus dem Engl. übers., mit einigen Anmerkungen begleitet von Fr. A. Gallisch. gr. 8. 1



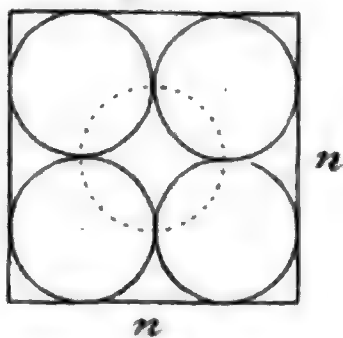


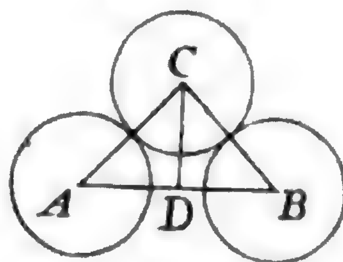


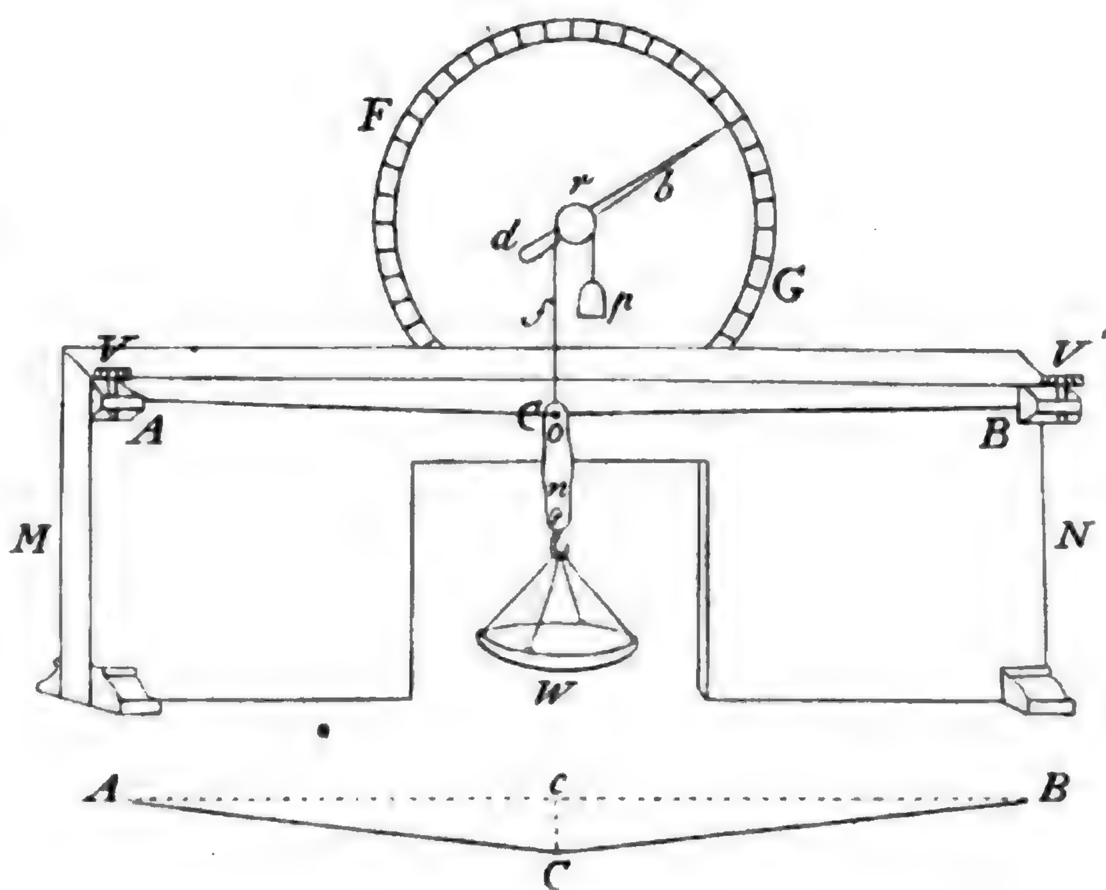


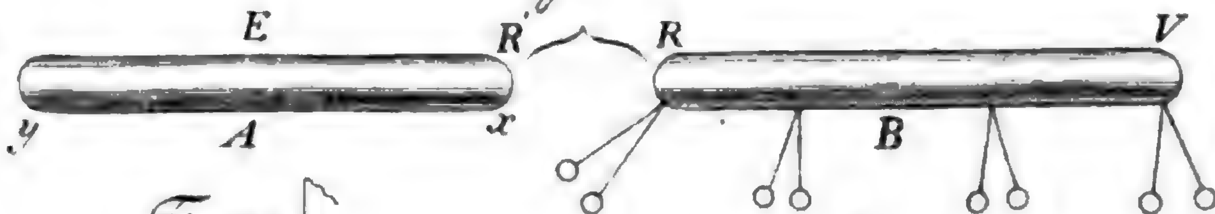


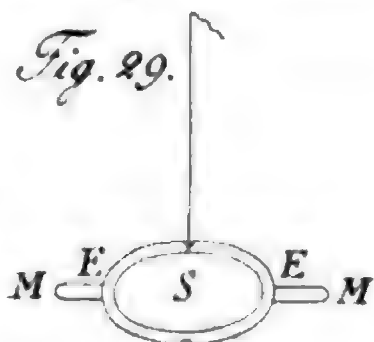
Ant. Karcher sc.











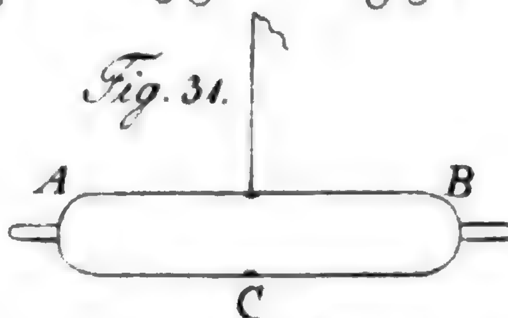


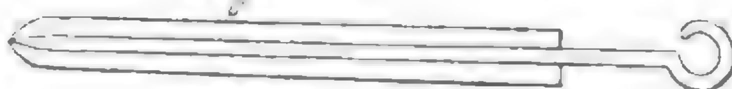


Fig. 28.

Ant. Karcher Sc.

Tab. III.

Fig. 36.



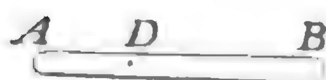


Fig. 34.

Fig. 43.

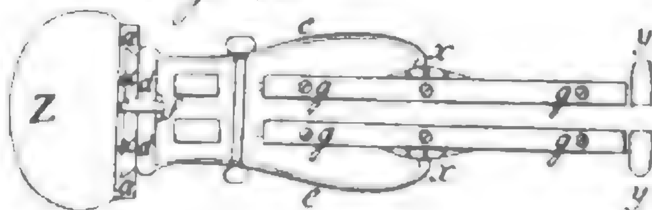


Fig. 35.

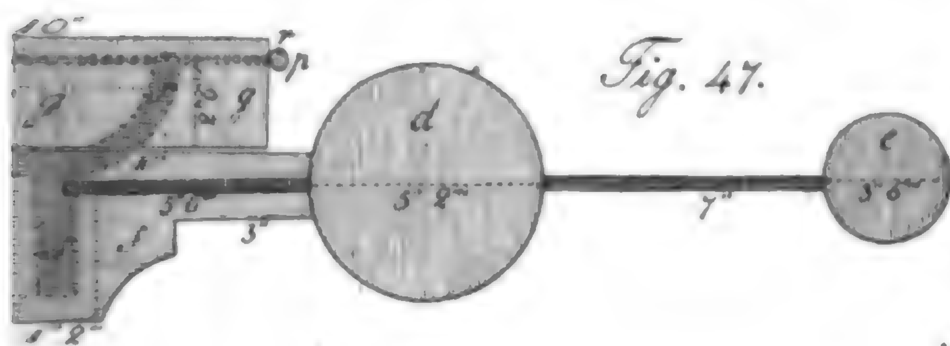


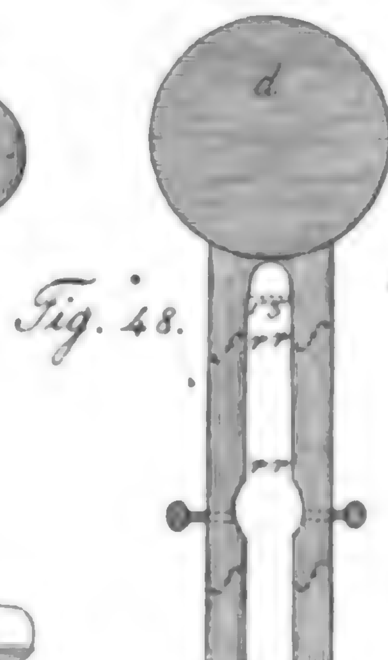
Fig. 38.

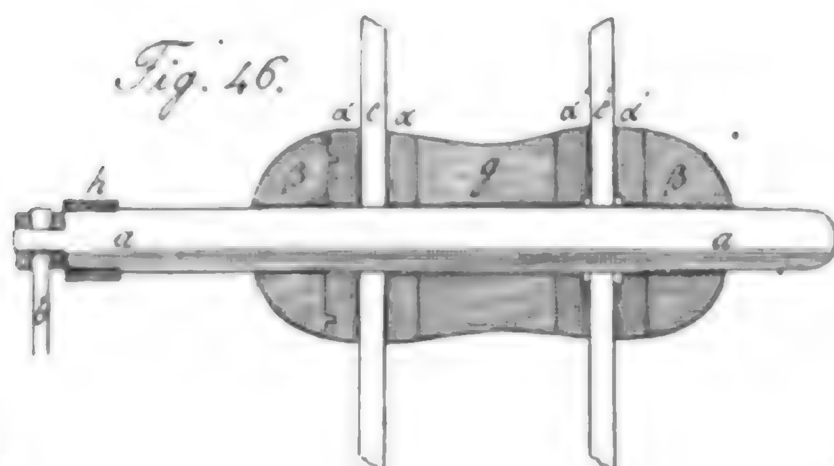


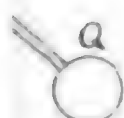
Fig. 41.

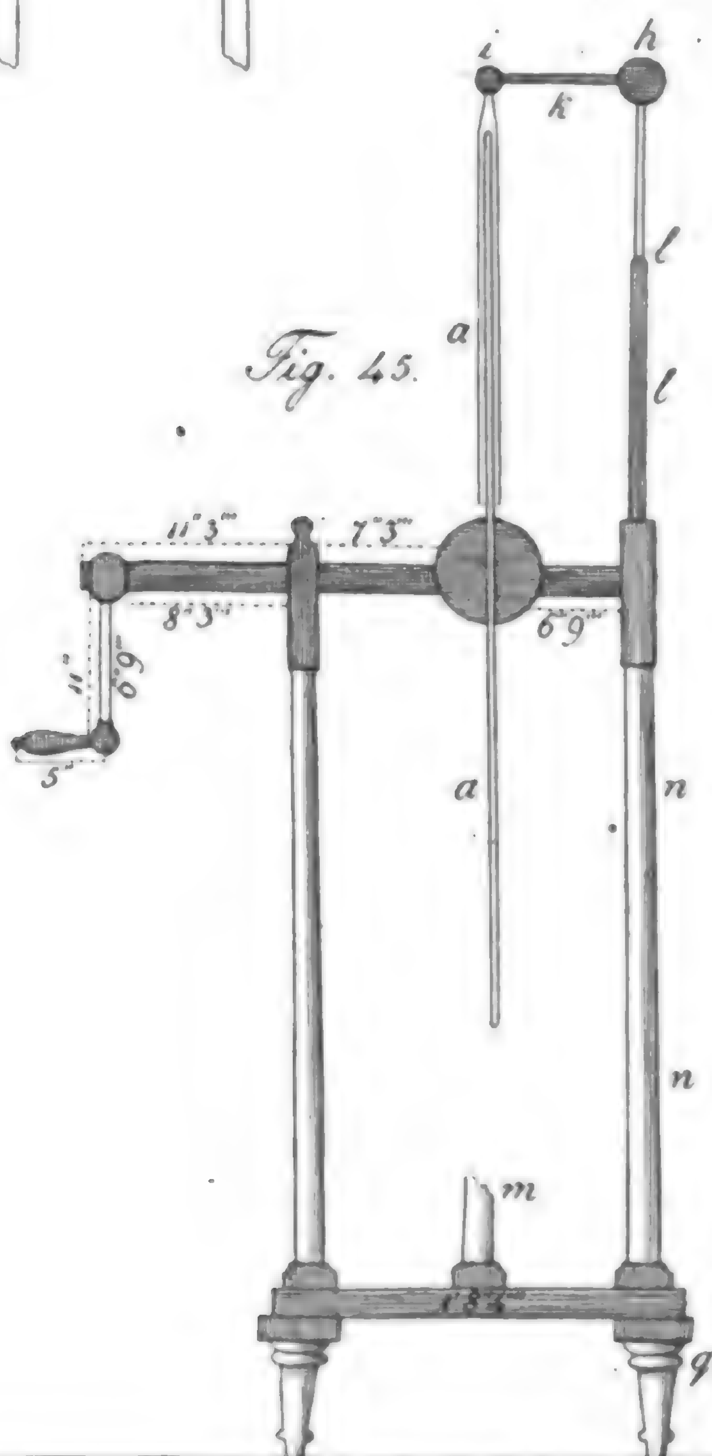
Ant. Zärcher sc.

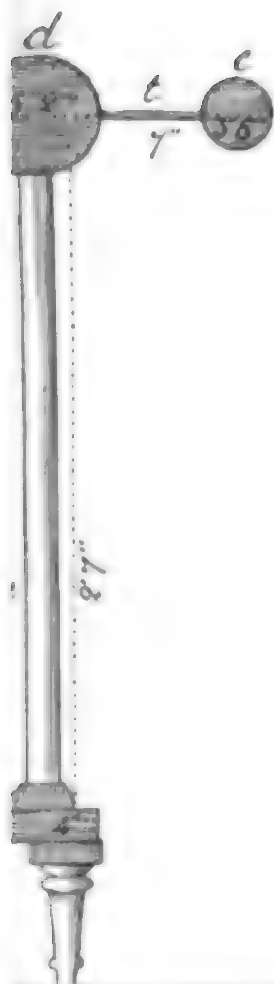






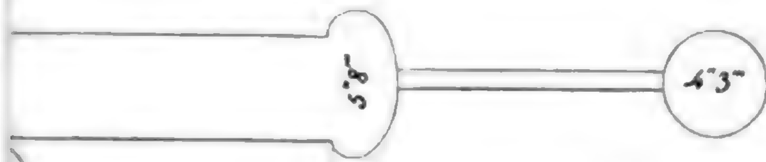


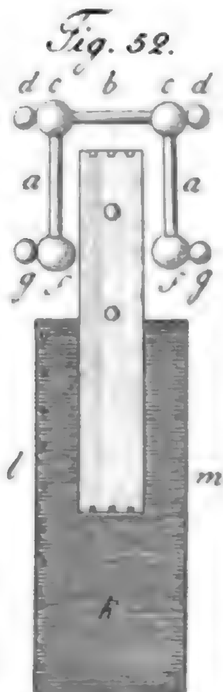


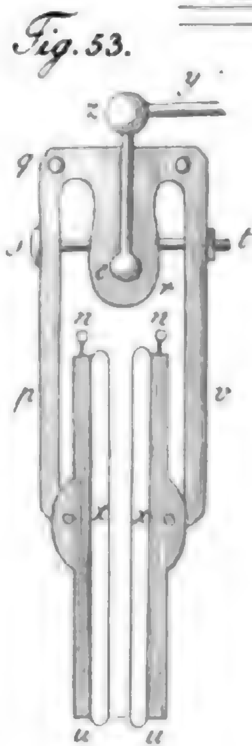


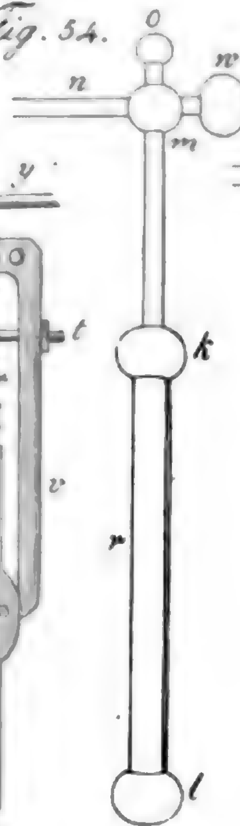
Ant. Karcher Sc.

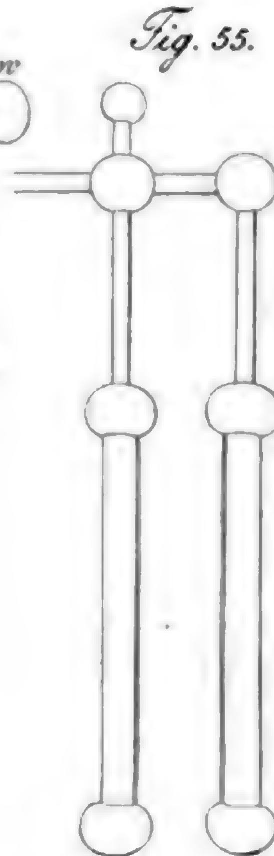
Tab. V.

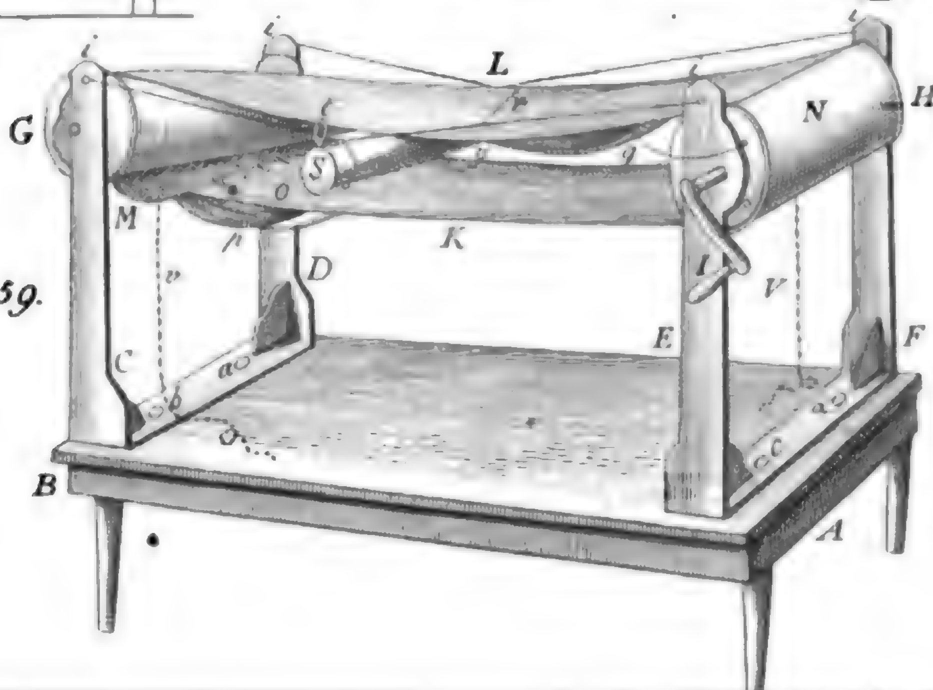




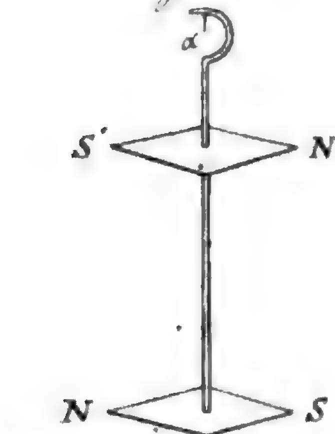


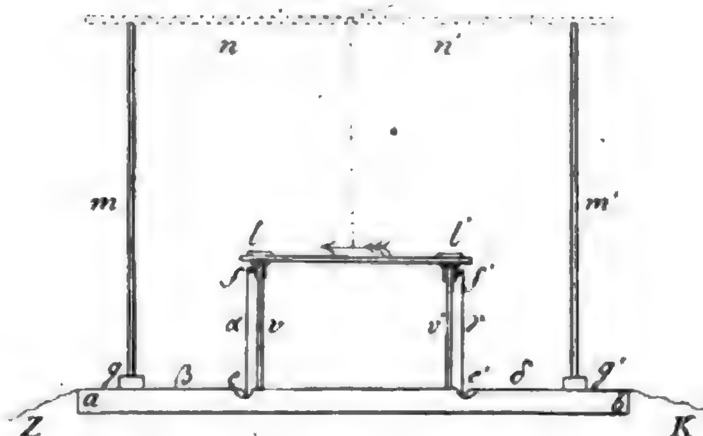


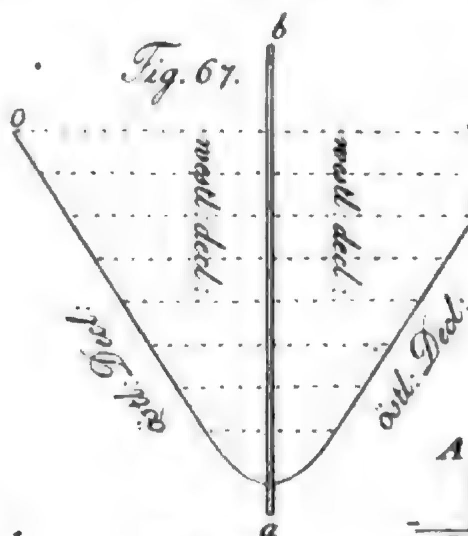


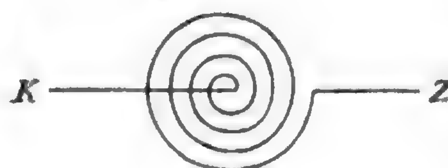


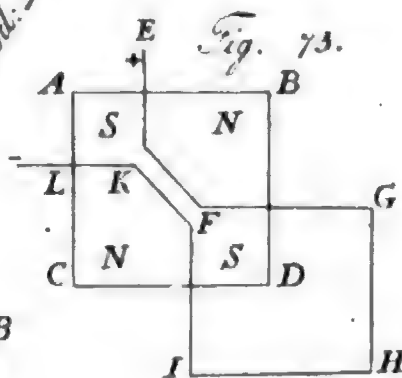
Ant. Kärcher Sc.

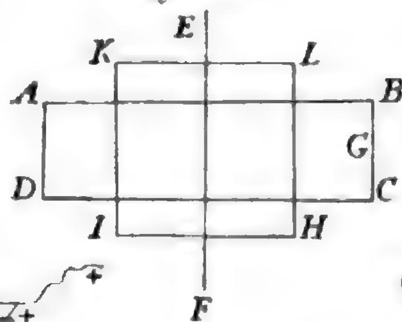






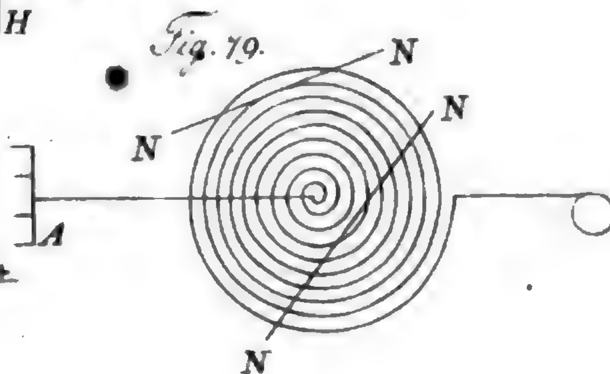




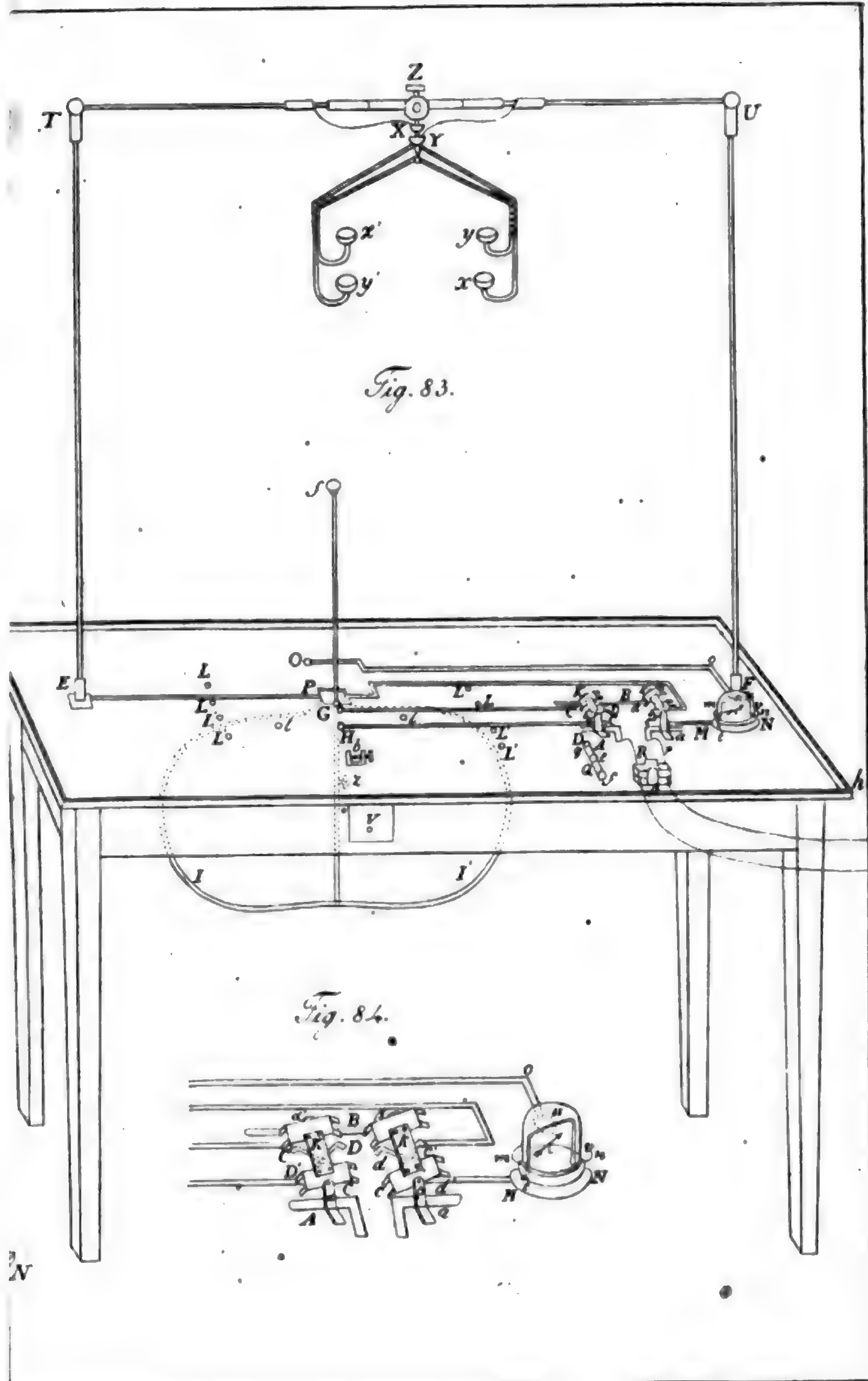




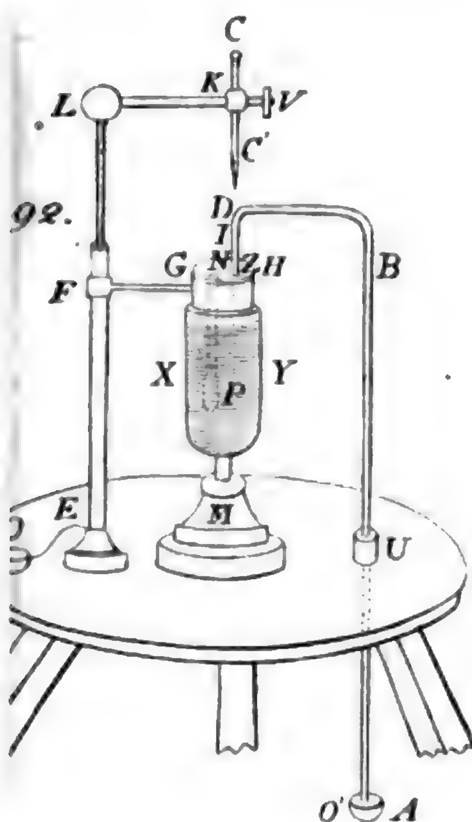


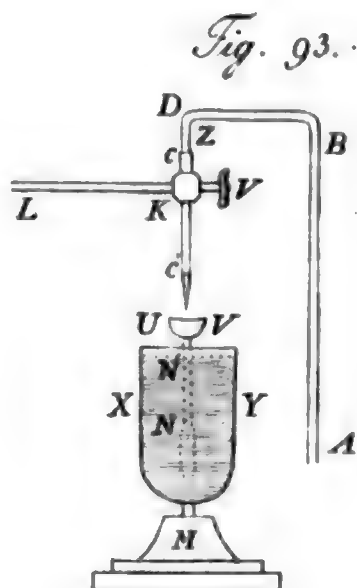


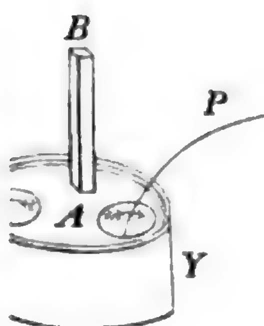
Ant. Kärcher Sc.

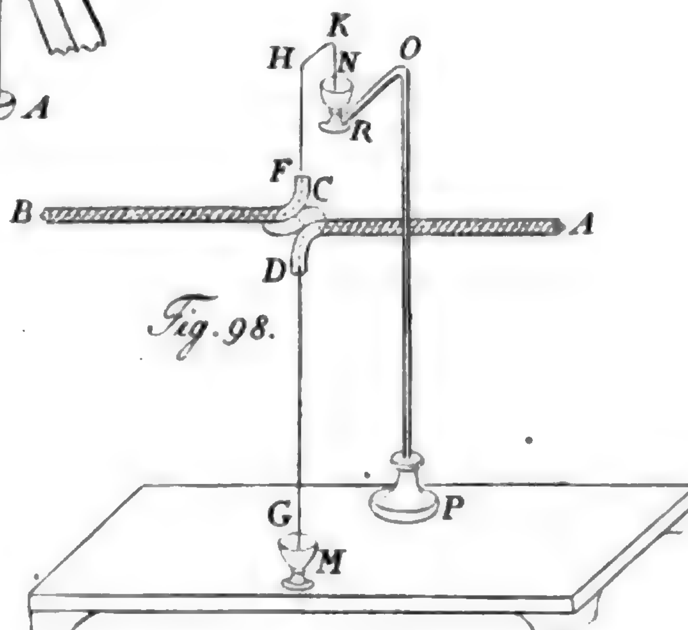


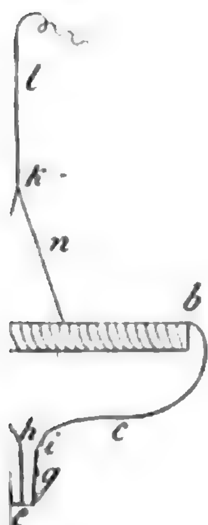
Ant. Karcher Sc.

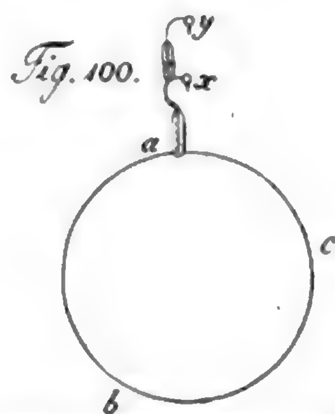


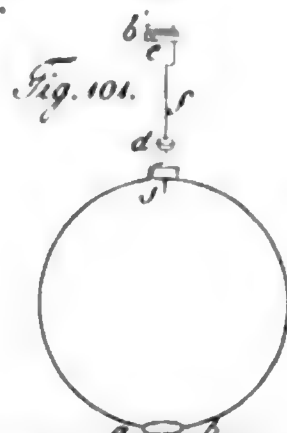




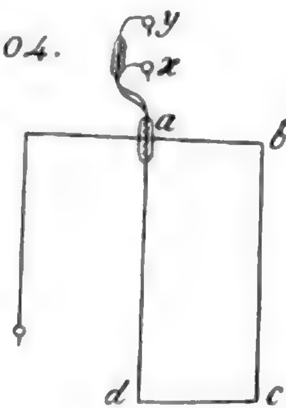


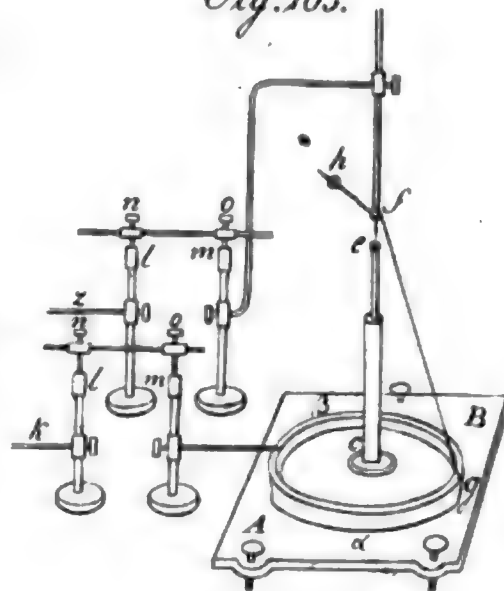


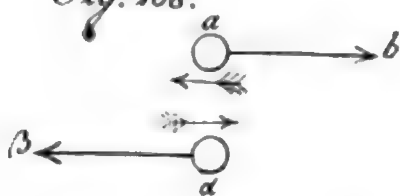


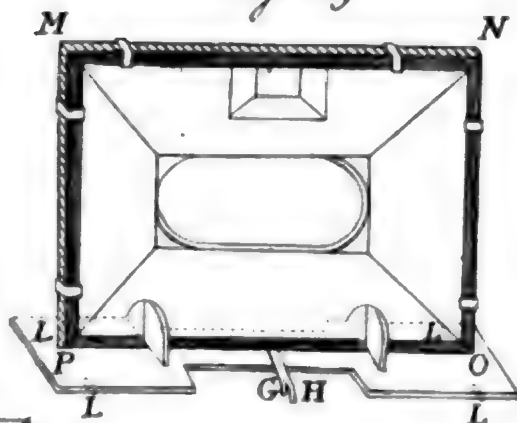


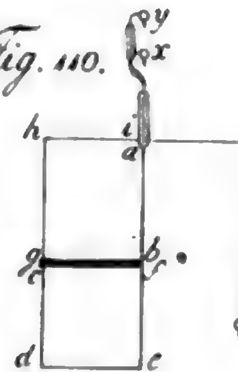
Ant. Zarcher sc.

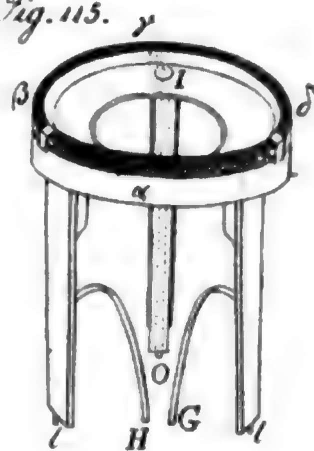






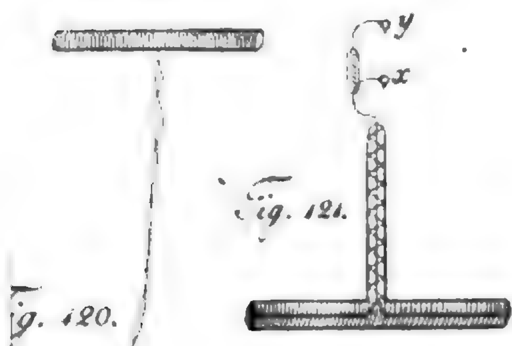




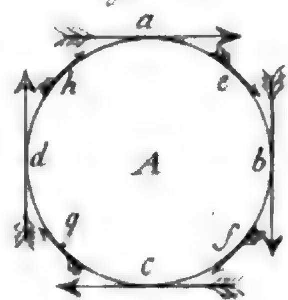


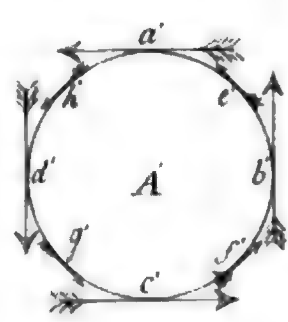


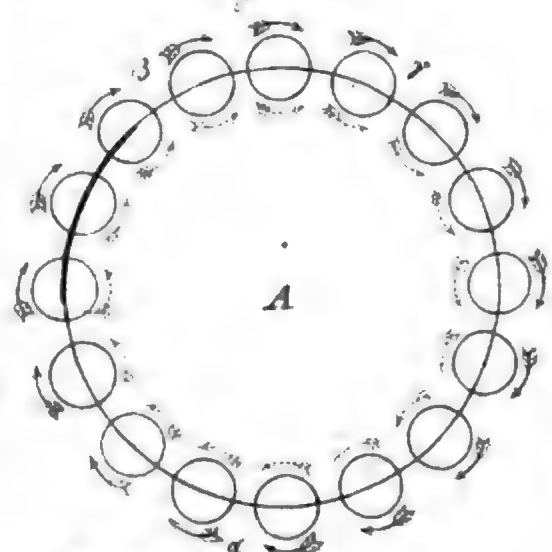
Ant. Kärcher Sc.

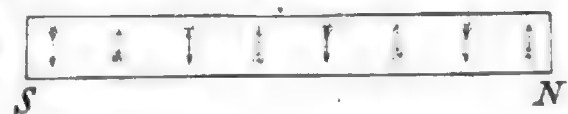


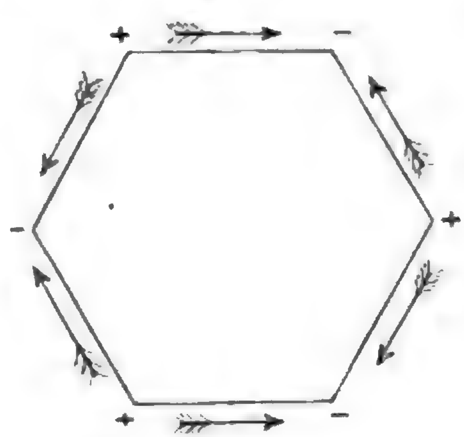


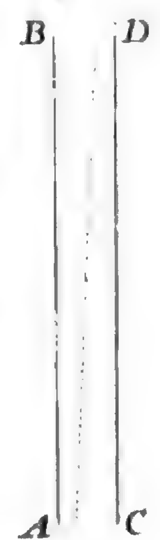


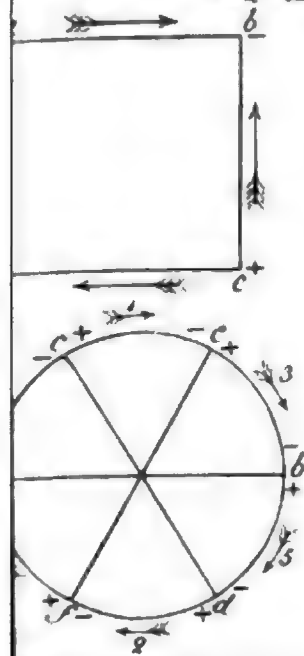




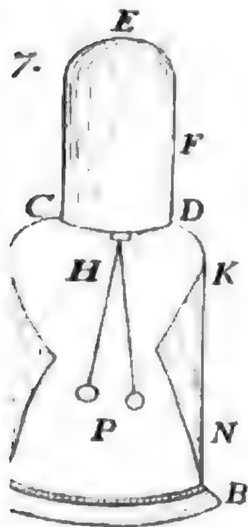


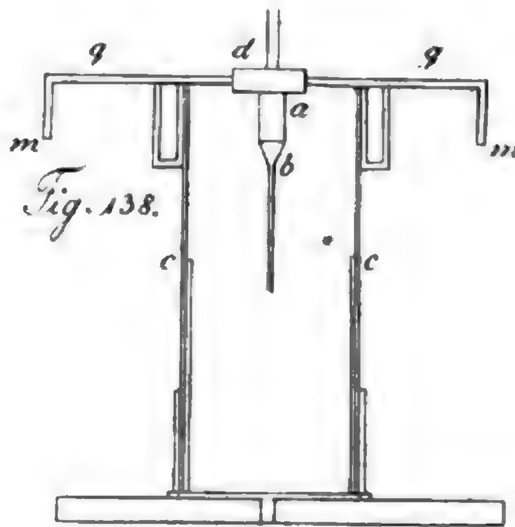


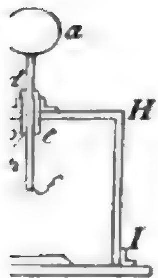


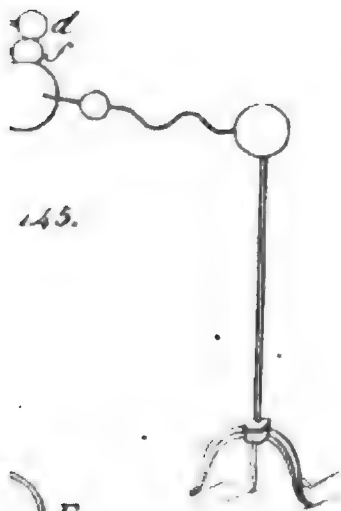


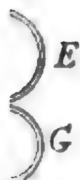
Ant. Karcher Sc.

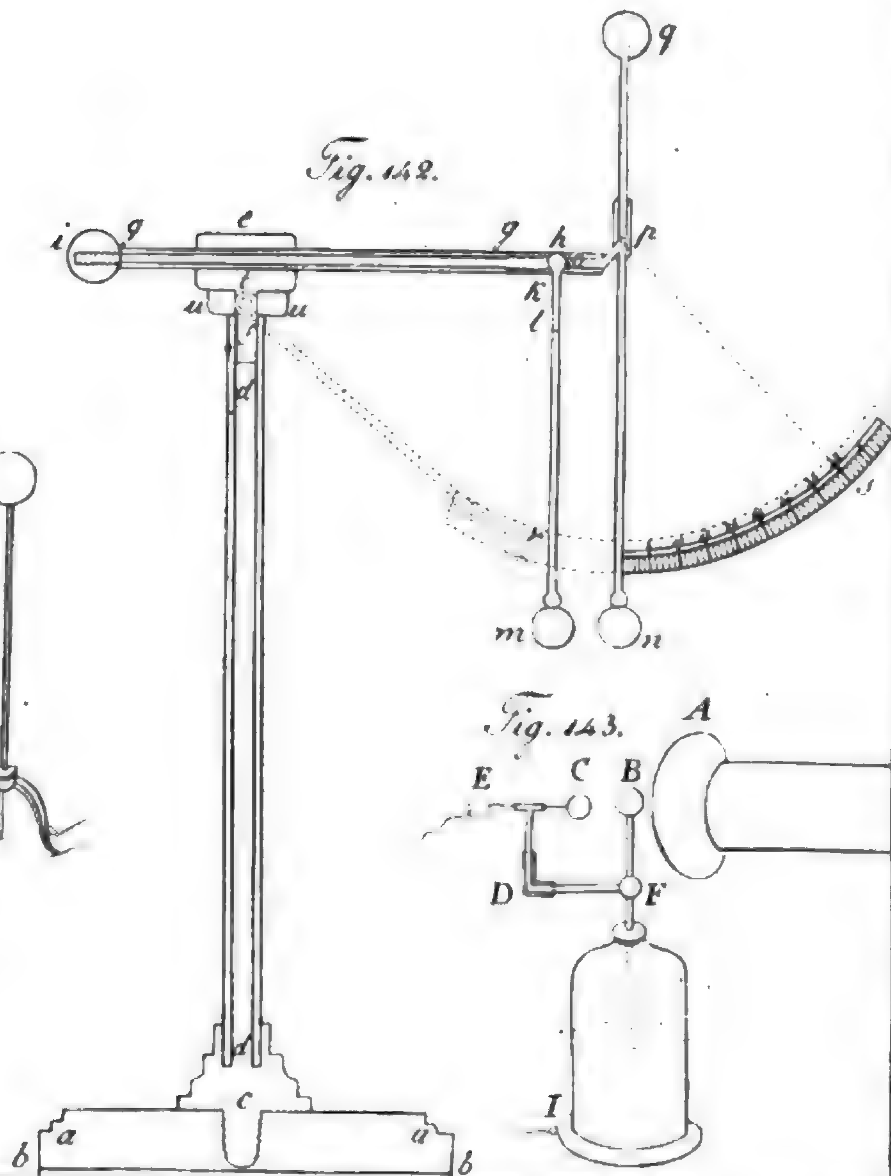


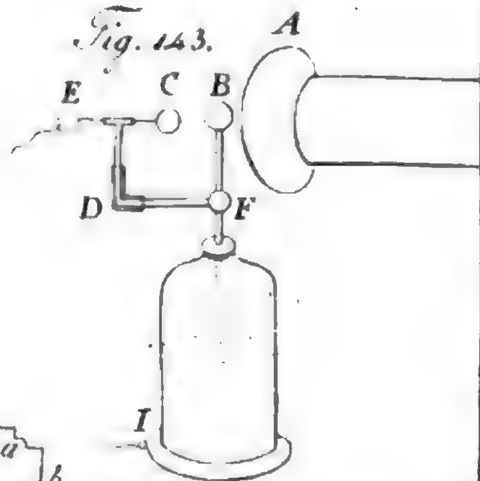






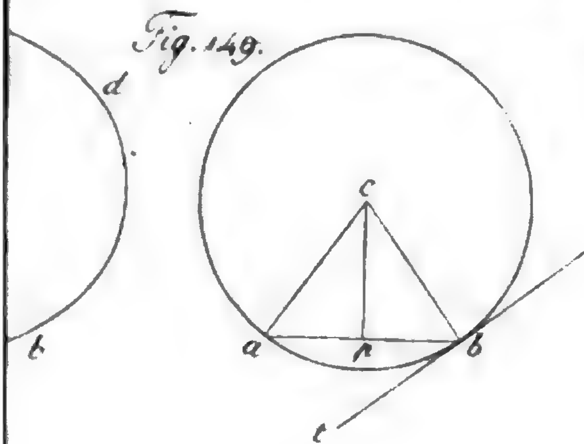


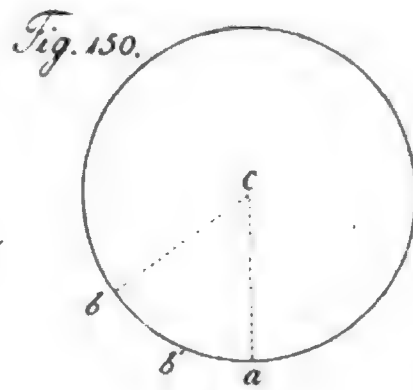


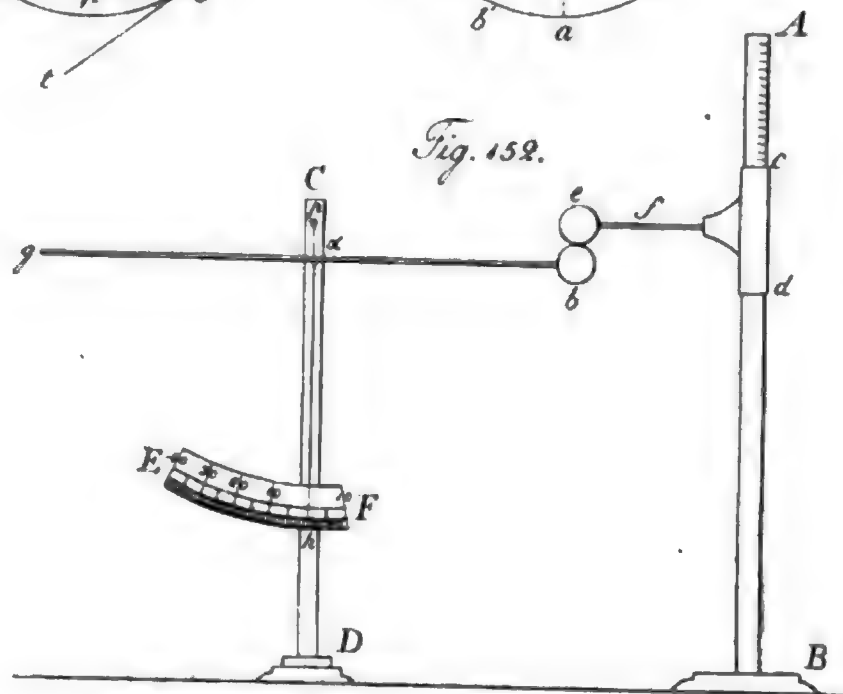


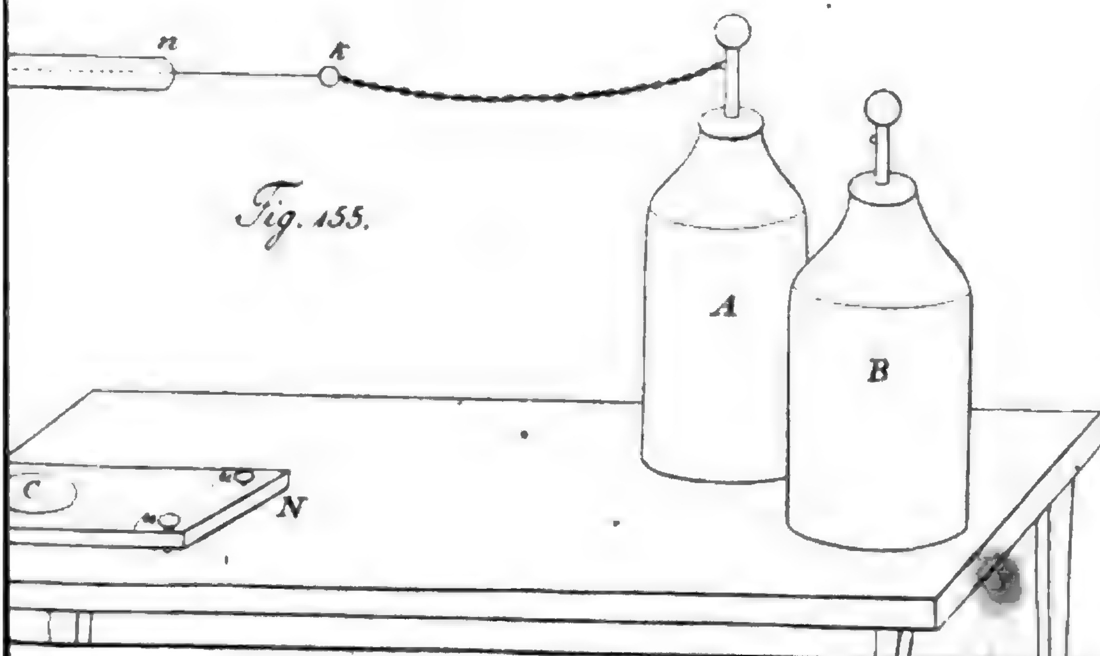
Ant. Karcher. fc.

Tab. XII.

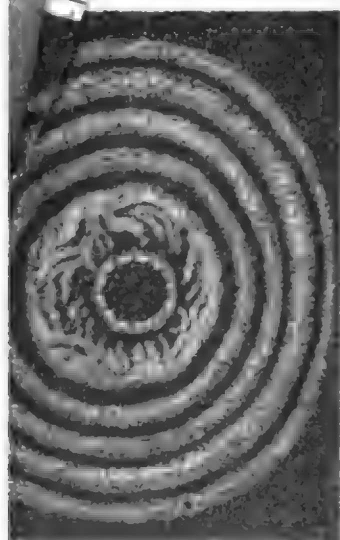








Ant. Karcher sc.



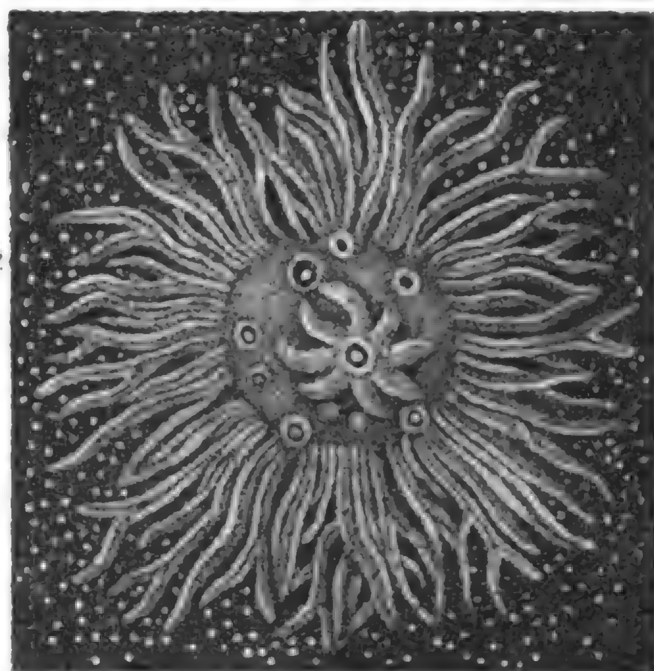
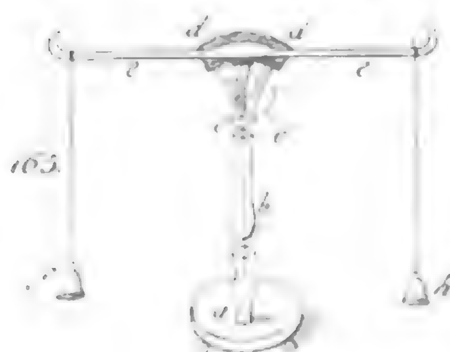


Fig. 162.



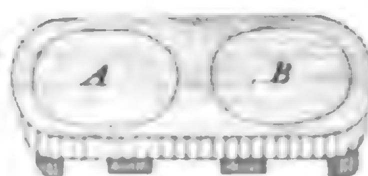


Fig. 166.

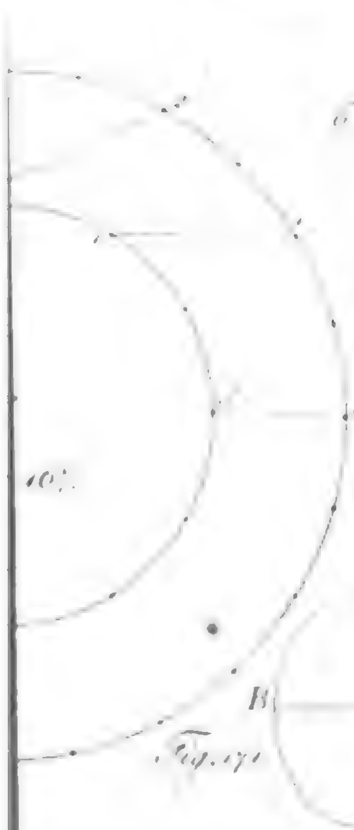


Fig. 171.

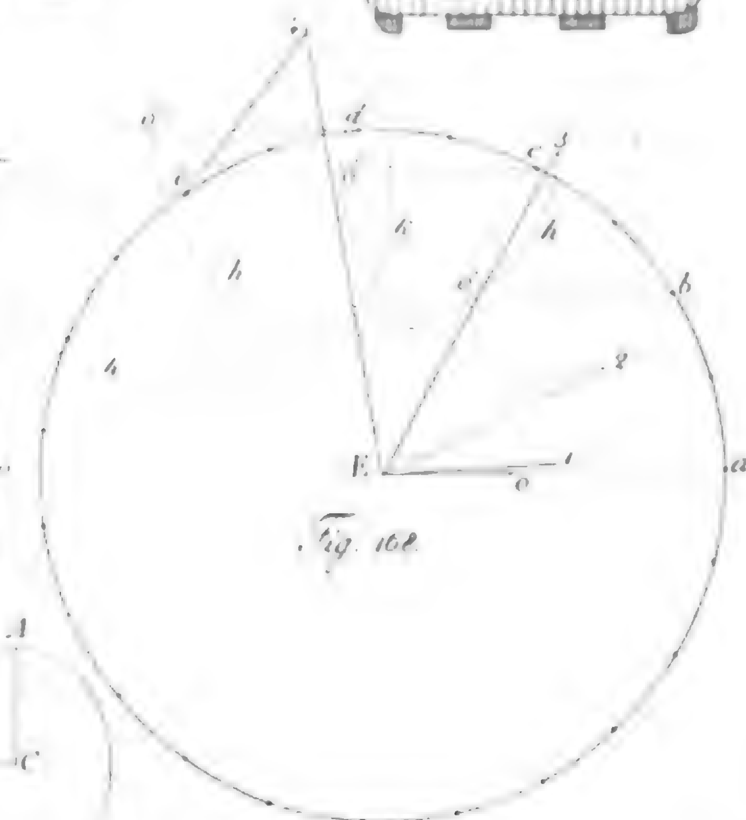
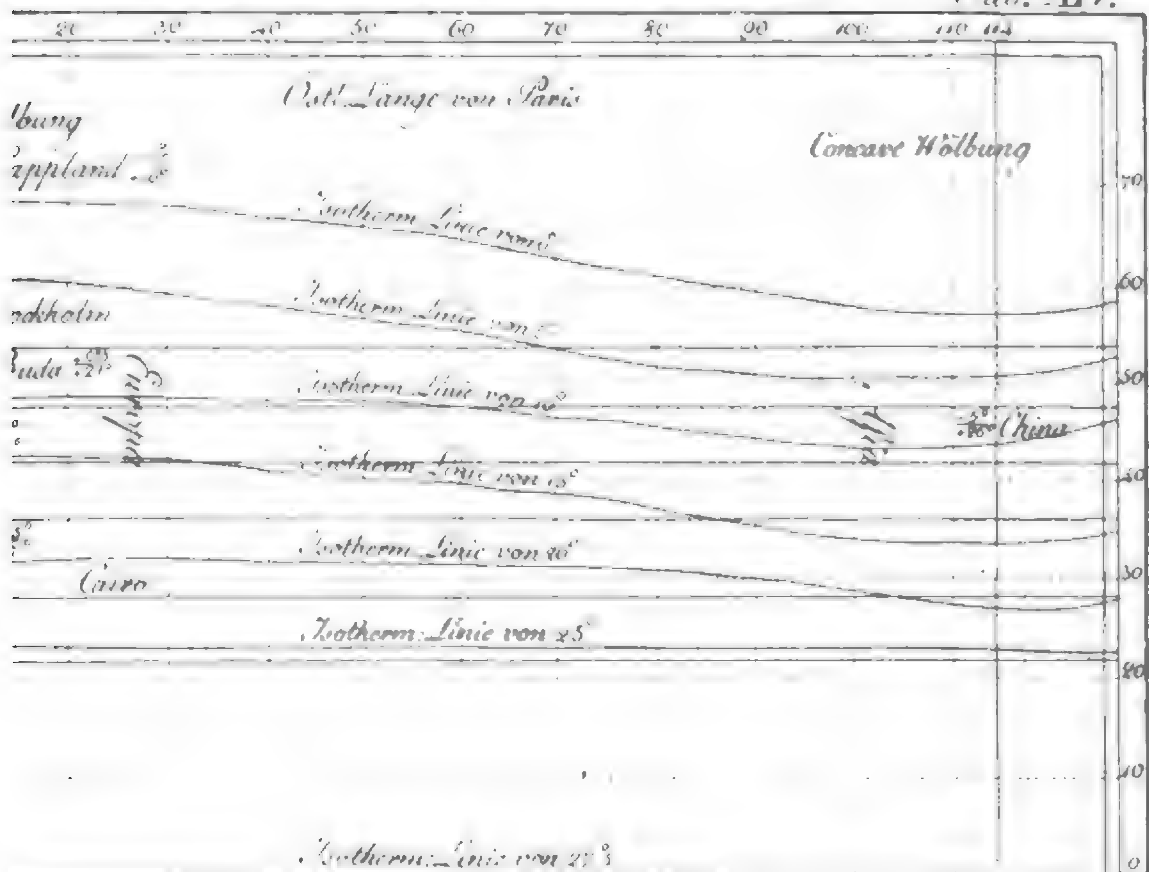
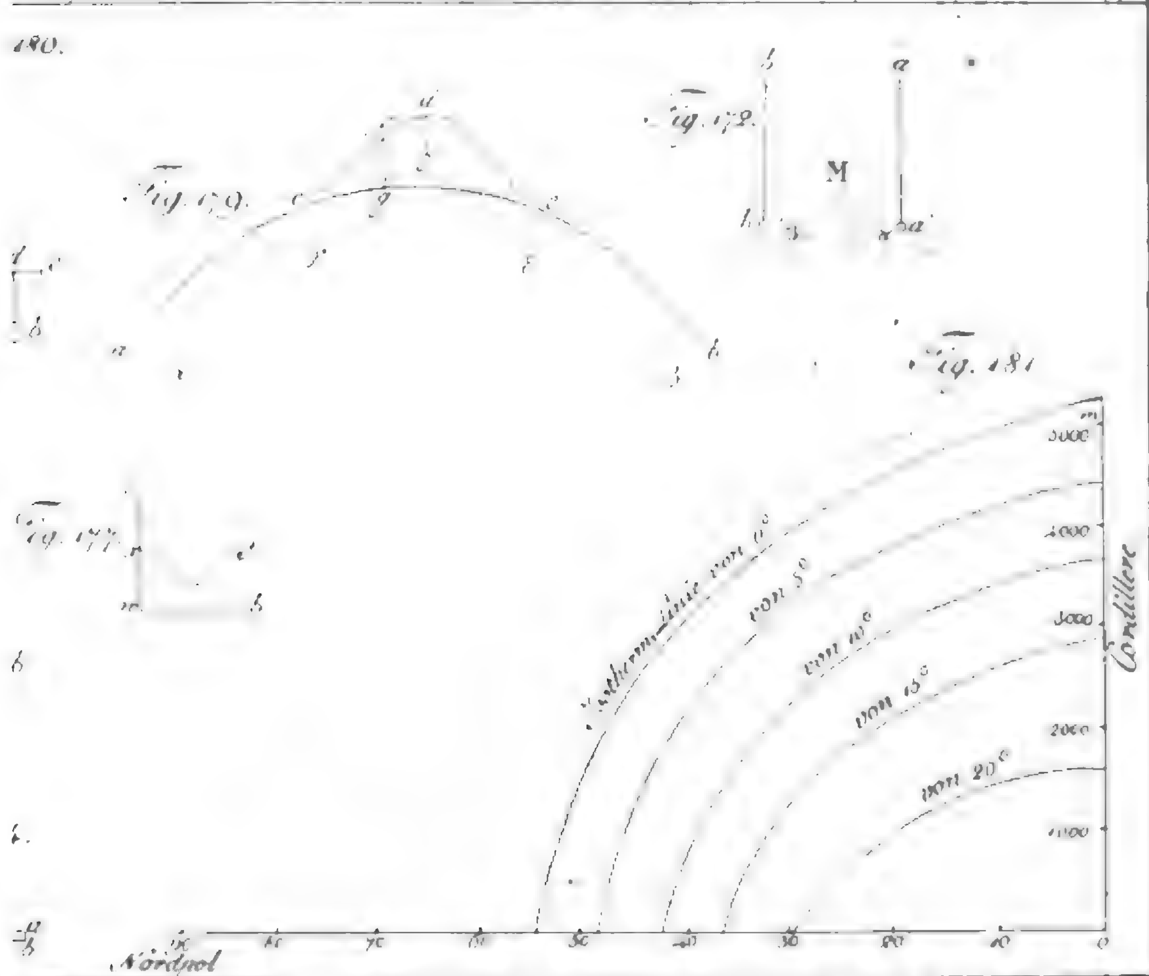


Fig. 168.

Ant. Karcher sc.

Tab. XIV.





Ant. Karcher sc.

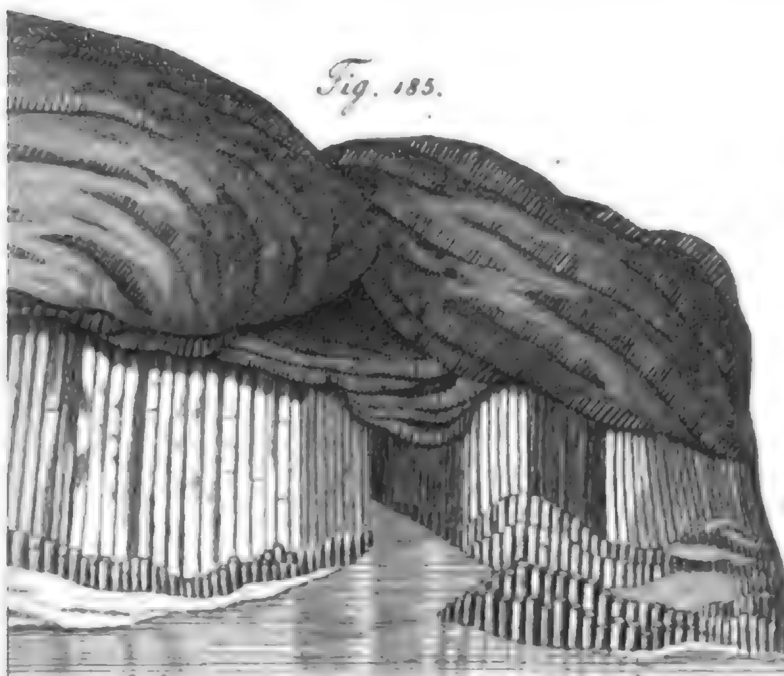


Fig. 185.

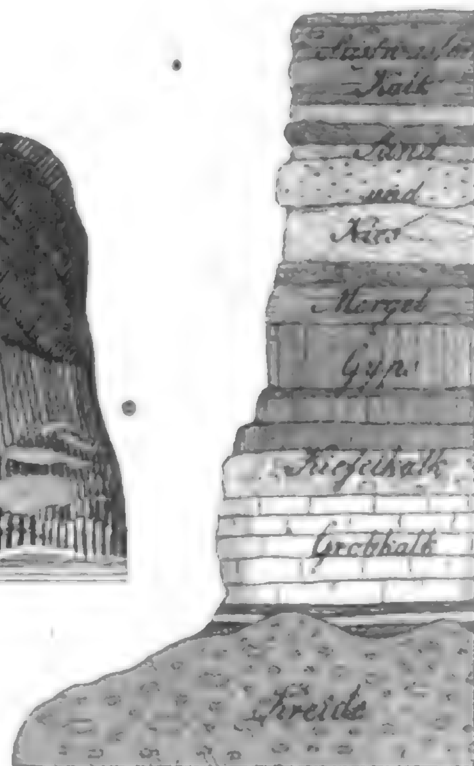


Fig. 182.

Fig. 184.



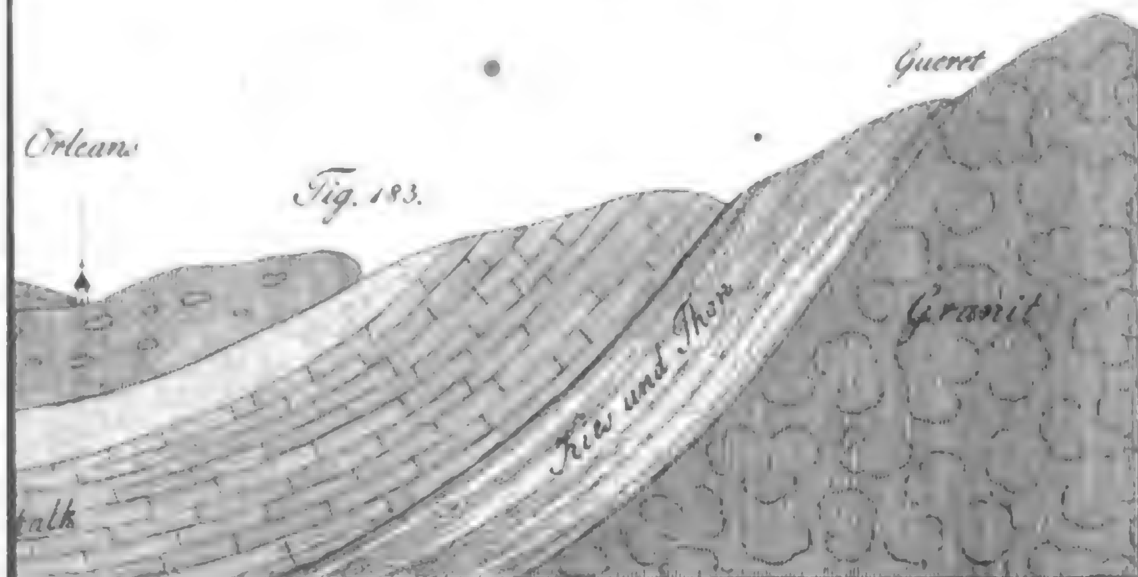
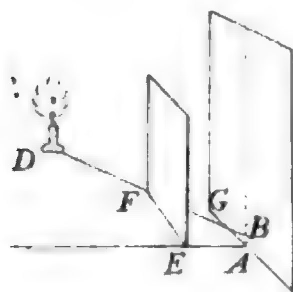
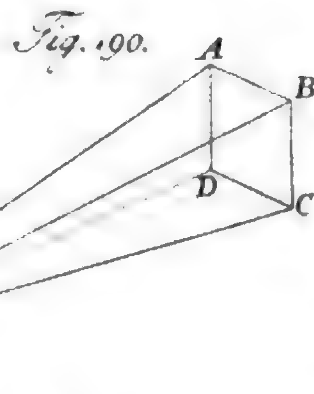


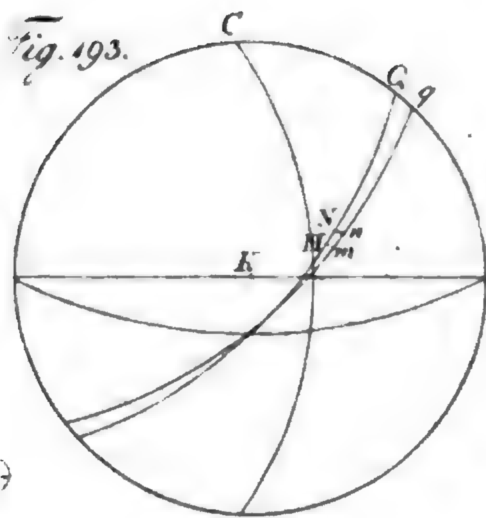
Fig. 183.

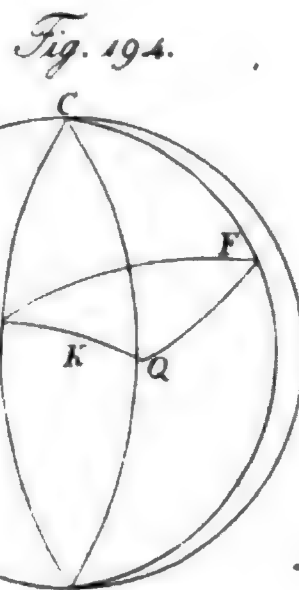
Ant. Karcher

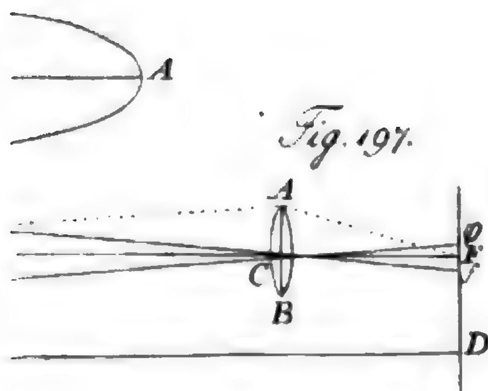


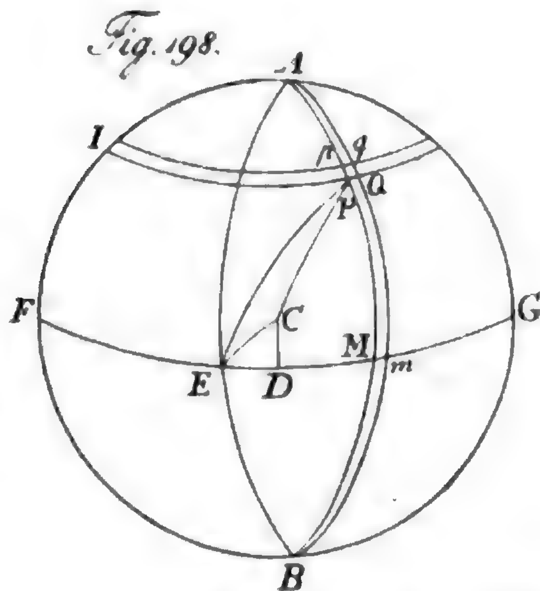












Ant. Kärcher Sc.


U.C. BERKELEY LIBRARIES
C024995256



image
not
available

image
not
available

image
not
available

image
not
available

image
not
available







Traugott Gehler's

lisches

rbuch

beitet

Muncke. Pfaff.



Band.

eilung.

Vae.

eln I bis IX.

ig,

wickert.

Wörterbuch

n d.

h e i l u n g.

W a e.

g e[1].

ina, Bilanx; Balance;

wendung kommenden Appa-
, so dafs es ermüden müfste,
Ohne dieses zu beabsichtigen
der Sache mitzutheilen, auf
z hinzudeuten, um dadurch
Mangelhaftigkeit nur nach
Dieser Zweck wird sich am
Zusammenstellung erreichen

ment, womit man das Ge-
die Stärke seiner Gravitation
derstand, welchen er gegen
als die *Drehwaage*, wie
weswegen das Barometer
ezeichnet man mit diesem
gleicharmigen Hebels die
Pferde angespannt werden,
vomit man eine horizontale
-waage, *Setzwaage* u. s. w.
defs nicht hierher, sondern
igen, vermittelst deren das

inder gewöhnliche Schreibart
anführen läfst, dafs dadurch
nit man wiegt, und Wagen,
em Zeitworte wagen gegeben
waren statt findet.

A

Gewicht der Körper, d. h. die Menge der in ihnen enthalt nen, gegen die Erde gravitirenden Theilchen, gemessen wi Je nach den verschiedenen Bestimmungen hat man diesen A paraten eigenthümliche Namen gegeben, und man unterschei daher die sogenannten Krämerwaagen, die chemischen, die Pr birwaagen, Goldwaagen, hydrostatische Waagen u. dgl. V der anderen Seite hat das Princip, worauf sie beruhn, d Grund zu eigenthümlichen Benennungen gegeben, indem zweiarmige Waagen, Schnellwaagen, Federwaagen u. s. heifsen. Alle diese einzelnen Benennungen werden im Folge den, so weit es nöthig ist, berücksichtigt werden.

Die meisten und zugleich richtigsten hier zu untersuchend Waagen beruhn auf dem Principe des *Hebels*[1], indem die messenden Lasten und Gewichte die auf die Hebelarme wi kenden Kräfte ersetzen. Die einfachste Anwendung dieses Pri cips ist aber in der zweiarmigen oder gleicharmigen, der sog nannten *Krämerwaage*, gegeben, die nach ihren verschieden Bestimmungen wieder als *chemische Waage*, *Goldwaage*, *Pr birwaage*, *hydrostatische Waage* u. s. w. bezeichnet wir und da so vieles, was bei diesen Apparaten überhaupt zu Wesen der Sache gehört, gerade hierbei vorzüglich in Betrach tung kommt, so ist es am geeignetsten, die Erfordernisse ein guten Waage und deren Bedingungen bei der Untersuchun über die Krämerwaage zu erörtern.

Man pflegt die Theorie der Waage, die auf den Ge setzen des Hebels und des Schwerpunctes beruht, vermittel der sogenannten *Universalwaage* anschaulich zu machen die nach Leupold[2] aus einem hölzernen, ganz regulärer in eine gewisse Anzahl gleicher Theile getheilten, Paralle lepipedum besteht und mit gewöhnlichen, unten zugeschärf ten Zapfen in Pfannen auf einem Stative ruht. Soll de Apparat feiner seyn, so verfertigt man den Waagebalke aus Stahl und theilt ihn in gleiche aliquote Theile, die zu noc größerer Schärfe mit einem Nonius versehn und so eingerich tet werden, dafs sich die Schieber, deren mittlerer den Waa gebalken trägt, während an den beiden äufsern die Waagscha len befestigt sind, auf dem Waagebalken sanft verschieben und

1 S. Art. *Hebel*. Bd. V. S. 105.

2 Theatrum staticum universale. Leipz. 1726. fol. Tab. V. fig. 2.

'en lassen; allein die Theorie
klar, dafs sie eines Beweises
f, welches ohnehin schwierig
de Abweichung von den Re-
absoluter Genauigkeit solcher
'heorie der Waage ist zuerst
ırch L. EULER[1] gegeben wor-
KÄSTNER[3], G.G. SCHMIDT[4],
:r sehr ausführlichen Darstel-
ie Construction der verschie-
ht, und viele Andere ge-
Waagen sowohl im Allge-
abgeänderten oder verbesser-
es in ausnehmend grofser
bereits erwähnten von LEU-
CRAMER[7], von LEUTMANNS[8]
mit Uebergehung derer, die
nentlich den Encyklopädien,
erfolge der Untersuchung Be-
erwähnt werden müssen.

waage.

rmiger Hebel, und da hier-
wenn $PL = P'L'$ ist, wo-
, hier die Gewichte, L und
om Unterstützungspuncte an
eide Arme gleich lang seyn
i kein mathematischer, son-

T. X. p. 1.
ematik Th. III. Greifsw. 1769.
tt. 1780.
her Abhandl. Giefs. 1793.
1831. 4. Th. I. S. 169.
aus d. Phys. Th. IX. St. 3.

gd. Bat. 1733. 8. Anfangsgr.
:. 1749. 2te Aufl. 1766. Th. I.

reinstimmender Thermometer

dern ein physischer, aus einem Körper bestehend, welcher sel ein gewisses Gewicht hat, und da auch dieses zugleich auf Hebelarme wirkt, so muſs das Gewicht eines jeden der beid Hebelarme in seinem Schwerpuncte genommen werden, um de sen Abstand vom gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte finden. Hiernach würde der Zustand des Gleichgewichts herg stellt seyn, wenn

$$PL + pl = P'L' + p'l'$$

wäre, worin p und p′ die Gewichte beider Arme in ihr Schwerpuncte, l und l′ aber die Abstände beider Schwerpun vom gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte bezeichnen.

Das erste und wichtigste Erforderniſs einer Waage übe haupt ist, daſs sie *richtig* sey, d. h. daſs die gewogenen G genstände genau so viele schwere oder gegen die Erde grav tirende Theile haben, als das zum Wägen verwandte Gewic nach der eigenthümlichen Construction der Waage angiebt. B der Krämerwaage soll der gewogene Körper genau so viel wi gen, als das angewandte Gewichtstück, und da dieses nic bloſs für $P = P'$, sondern auch für $nP = nP'$ erforderlich i wobei n eine beliebige ganze oder gebrochene Zahl bezeichne so kann die Bedingung der Richtigkeit einer solchen Waa nur dann statt finden, wenn $P = P'$, $L = L'$, $p = p'$ und $l =$ ist, oder *beide Hebelarme müssen einander an Materia Länge und Dimensionen völlig gleich seyn.* Allerdings kan ein Zustand des Gleichgewichts statt finden, wenn die Un gleichheiten auf beiden Seiten sich aufheben, was auch für ei gegebenes $P = P'$ möglich seyn würde, wenn die dabei sta findende Ungleichheit von L und L′ durch die Ungleichheit vo pl und p′l′ aufgehoben wäre, nicht aber für $nP = nP$ und die Waage würde dann bloſs für ein bestimmtes Gewicl allerdings richtig seyn, für jedes andere aber unrichtig. Unte den verschiedenen hierfür möglichen Fällen wollen wir bei spielsweise nur L′ und p′ von L und p verschieden annehmen Hierdurch verwandelte sich die Gleichung

$$PL + pl = P'L' + p'l' \text{ in}$$
$$PL + pl = P'(L \mp x) + (p \pm y)l',$$

woraus dann aber folgen würde, daſs

$$nPL + pl \lesseqgtr nP'(L \mp x) + (p \pm y)l'$$

werden müſste. Nimmt man Werthe in Zahlen an, so wäre

$3\times5+3\times3,$

$.3\times5+3\times3.$

e Prüfung der Bedingung, ob
ısetzt, dafs geübte Künstler
allein die vorstehende Be-
feine Waagen auch in dieser
er genauen haben können. Es
len, ob eine gegebene Waage
da ohne eine Belastung in bei-
st die Gröfsen P und P' der
n Kräfte sind, welche auf
n, so würde in dem Falle,
und die Waage sich den-
tellt, nach Wegnahme der-
n $p\,l \lessgtr p'l'$ werden. Man
ıtdecken, nur von einer im
findenden Waage die Scha-
em Fehler behafteter Waa-
ommen und an einer Seite

ordert aber aufserdem, dafs
y, dafs $P = P'$ und $L = L'$
hwendig statt findet, wenn
anhängenden Schalen als
wicht stellt; denn es kann
n, das heifst, das Gleich-
ıgung statt finden, wenn
ınd eine leichtere am län-
Waagebalken für sich al-
ıt stellt. Es liegt indefs
ıch diese Bedingung leicht
Schalen verwechselt. In-
aagen nicht thunlich oder
bringt daher meistens ein
nittel in Anwendung, in-
der Schale liegenden Last
die Lasten verwechselt.
ht man bald aus der ein-
Es seyen demnach die

Gewichte der Waagschalen q und $q + x$, die Längen der Hebelarme L und $L + y$, so wird Gleichgewicht statt finden wenn

$$(q + x) L = (L + y) q, \text{ also } y = x \frac{L}{q}$$

ist, d. h. der eine Hebelarm mufs um eine gewisse Gröfse länger seyn, welche mit dem Uebergewichte der einen Waagschale im geraden Verhältnisse ihres Hebelarmes und im umgekehrten des Gewichtes der anderen Waagschale wächst. Werden dann die Waagschalen verwechselt, so wirkt auf den einen Hebelarm ein Moment $= q L$, auf den andern aber $= (q + x)(L + y)$, und letzterer hat daher ein Uebergewicht $= (L + y) x + q y$. Werden dann in die Waagschalen einer solchen unrichtigen, aber doch im Gleichgewichte befindlichen Waage die Gewichte P und P' gelegt, so mufs für den Zustand des Gleichgewichts $P' = P \frac{L}{L + y}$ seyn, d. h. das Gewicht auf der Waagschale des längeren Hebelarmes mufs in dem nämlichen Verhältnisse kleiner seyn, als der Hebelarm länger ist. Nach der Verwechselung dieser Gewichte würde auf die eine Waagschale das Moment $= P \frac{L^2}{L + y}$, auf die andere aber $= P (L + y)$ wirken, oder beide Gröfsen durch $L + y$ dividirt giebt $P \frac{L^2}{(L + y)^2}$ und P; d. h. das Gleichgewicht wird um so mehr gestört werden, je mehr $\frac{L^2}{(L + y)^2}$ von der Einheit abweicht oder je gröfser der Werth von y ist. In polizeilicher Hinsicht kommt zunächst nur die Richtigkeit der Waage in Betrachtung, um das Publicum gegen Uebervortheilung zu sichern, und in dieser Beziehung genügt daher die einfache Regel, dafs man die zu prüfende Waage mit willkürlichen Gewichtstücken ins Gleichgewicht bringt und dann die Gewichte verwechselt. Bei werthvollen Gegenständen, z. B. bei Gold und Silber, pflegt dieses stets zu geschehen, um Käufer und Verkäufer von der Richtigkeit der Wägung zu überzeugen.

Hierdurch würde sich die Unrichtigkeit der Waage herausstellen; es ergiebt sich daraus aber leicht, wie man die Gröfse des Fehlers einer Waage auffinden und bei der Voraussetzung

aagschalen, wofür der Künst-
rch Verbesserung der unglei-
rigiren könne. Die Bedin-
ist dann vorhanden, wenn
gewichts hervorbringt, oder
Gewichten in beiden Waag-
Besitze solcher gleichen Ge-
bald angestellt, im entgegen-
e zu verschaffen suchen. Zu
e Schale ein Gewicht P und
le Q, bis das Gleichgewicht
us, legt statt dessen ein an-
rer als P, hinein, und ver-
Gleichgewicht wieder herge-
o $P = P'$, zwei gleiche Ge-
aagschalen mit beiden letzte-
beider Waagebalken Gleich-
gengesetzten aber ein Nie-
erfolgen, wobei jedoch zu
dieser Prüfung der Feinheit
ufs [1]. Die Abweichung der

aagen ist höchst zeitraubend
venn auch zur Abhaltung des
skasten befindet, so dauert es
en höchst langsamen Schwin-
Stand des Waagebalkens ein-
lung meistens die hinlänglich
ie letzteren herzustellen, was
ient man sich des gleichmäfsig
ierfür den sogenannten Gold-
eignetsten. Hat man hiervon
ichte, so wickelt man ihn um
hneidet dann die schrauben-
xe des Cylinders, und erhält
talgewichts. Steht aufserdem
ein, so legt man ein genau
erfür auf geeignete Weise den
edient sich dann der letzteren
an aus dem Mittel der äufser-
cilliren des Waagebalkens er-
ahrens, und indem man kleine
e und die andere Waagschale

Länge ergiebt sich aus der Ungleichheit des Gewichtes eines un desselben Körpers in beiden Waagschalen. Denn wenn de Körper in der einen Schale liegend p, in der andern aber wiegt, das wahre Gewicht aber = x ist, so folgt:

$$L:L' = p:x$$
$$L:L' = x:q$$
$$p:x = x:q, \text{ also } x = \sqrt{pq},$$

wonach also das wahre Gewicht der mittleren Proportionale au beiden falschen Gewichten gleich ist. Betrüge z. B. p = 1 Unzen, q = 15 Unzen, so wäre $x = \sqrt{(16 \times 15)} = 15{,}49$ Unzen, und die beiden Arme verhielten sich wie 1600 : 1549 ode nahe wie 32 : 31. Ein so grober Fehler, als dieser, würde sic indefs schon durch blofse Messung ergeben, allein man verlangt die Genauigkeit der Wägungen in einem so hohen Grade dafs dieser durch mechanische Kunstfertigkeit nie erreicht wird und das angegebene Verfahren ist daher nicht blofs erforderlich um die Richtigkeit der Waage ursprünglich herzustellen, sondern auch späterhin, um eine durch den Gebrauch etwa entstandene Unrichtigkeit aufzufinden. Sollte sich eine solch wirklich zeigen, so wird sie durch den Ausschlag oder ei Herabsinken des einen Waagebalkens sichtbar, und man könnte für künftige Wägungen den so bestimmten Stand als den normalen betrachten, was jedoch nur annähernd und für verschiedene Belastungen nicht völlig genau wäre. Viele Künstle versehn daher das Ende des einen Hebelarmes (denn nur eine bedarf der Correction) mit einer Mikrometerschraube, um mittelst derselben den Aufhängepunct der dazu gehörigen Waagschale dem mittleren Unterstützungspuncte des Waagebalkens etwas zu nähern oder weiter davon zu entfernen. Hierbe wendet man mit Vortheil das Princip der *Hunter'schen Schraube* an[1], welches darauf beruht, dafs zugleich zwei Schrauben umgedreht werden, von denen die eine auf einen Zoll einen Gang mehr hat, als die andere, so dafs daher die wirkliche Fortrückung nur den Unterschied beider Schrauben beträgt und also höchst fein ist. Um die Momente beider Arme gleich zu

---

legt, denjenigen Scalentheil findet, auf welchem die ruhende Waage stillstehn würde.

1 Dove über Maafs und Messen u. s. w. Berl. 1835. S. 157.

r Aufhängepuncte von der
ist bei den in Wien ver-
le eine Schraube mit einem
h tiefer in den Waagebal-
htige Gewichtsbestimmung
durch DE BORDA angege-
cksicht auf die Richtigkeit
bringt zu diesem Ende die
e durch den zu wägenden
ewichtstheilen, auf der an-
Gegengewicht belastet ist,
den zu wägenden Körper
tstücke, die unter Voraus-
ht des Körpers genau an-
gleich den Vortheil, dafs
ohen Gewichte belastet ist.

guten Waage, zunächst je-
nellwaage, ist der *horizon-*
llte man den Waagebalken
o würde den Forderungen
eschehn, wenn gleiche La-
ngebracht einen Stillstand
her Hebel das Prädicat der
ich als drittes Erfordernifs
geringste Vermehrung des
chalen eine Bewegung zu
rde der Apparat nicht zum
aagebalken als blofser He-
, dafs die Angriffspuncte
m Unterstützungspuncte in
nn der eben erwähnte Zu-
beliebiger Lage von selbst
len Standes mufs aber der
geraden Linie liegen, wel-
Lasten verbindet, so dafs
erpunct der letztern unter

lem. S. 58.
15. Vergl. Edinburgh Journ.

Fig. 1. den Unterstützungspunct fällt. Wären also die beiden Angriffspuncte der Lasten P und Q und läge der Unterstützungspunct über der sie verbindenden geraden Linie, so fiele der gemeinschaftliche Schwerpunct beider Lasten in S. Läge dann der Unterstützungspunct in C, so könnte der Zustand der Ruhe nur dann statt finden, wenn S in verticaler Linie unter C sich befände; denn bei vorhandener Beweglichkeit ruht ein Körper nur dann, wenn sein Schwerpunct den tiefsten Stand eingenommen hat. Kommt der Waagebalken in die geneigte Lage P′ Q′, so wird der gemeinschaftliche Schwerpunct nach S′ gehoben werden und muſs daher herabsinken, bis er seine tiefste Lage in S wieder eingenommen hat, also bis die horizontale Lage des Hebels wieder hergestellt ist. Hieraus ergeben sich daher die bekannten Folgerungen: 1) Liegen die beiden Angriffspuncte der Lasten beim gleicharmigen Hebel mit dem gemeinschaftlichen Unterstützungspuncte in einer geraden Linie, so würde derselbe bei gleicher Belastung in jeder Lage zur Ruhe kommen. Mit einem solchen wären allerdings Wägungen möglich, allein höchst unbequem, weil beim geringsten Uebergewicht an einer Seite der Hebel eine verticale Lage annehmen müſste, ja diese würde eine bleibende seyn, sofern entweder der eine oder der andere Hebelarm herabsinken müſste, weil absolut verschwindend kleine Gröſsen sich gar nicht darstellen lassen, vorausgesetzt daſs der Hebel vollkommen unbiegsam und keine Reibung bei ihm vorhanden wäre. 2) Liegt der Unterstützungspunct unter der geraden Linie, welche die beiden Angriffspuncte des Hebels vereinigt, so ist zwar eine horizontale Lage des Waagebalkens bei gleicher Belastung beider Arme unter der Bedingung theoretisch möglich, daſs der Schwerpunct mit dem Unterstützungspuncte in eine verticale Linie fällt, physisch aber würde dieses ebenso unmöglich seyn, als eine Kugel auf einer Nadelspitze zu balanciren, weil sich die erforderlichen Bedingungen in mathematischer Schärfe nicht erreichen lassen; denn bei dem geringsten Uebergewichte an einem Arme und beim geringsten Herausrücken des Schwerpunctes aus der genannten verticalen Linie würde der Schwerpunct herabsinken, der Waagebalken umschlagen und oscilliren, bis er zur Ruhe käme, sobald sich der gemeinschaftliche Schwerpunct in der verticalen Linie durch den Unterstützungspunct befindet. 3) Der horizontale Stand des Hebels ist also nur dann erreichbar,

hwerpunct sich unter dem Un-
Dieses gilt allgemein und ohne
Abstandes beider von einander,
eitigen Erfordernissen eines guten

ematischen Hebel gültigen Sätze
gebalken, angewandt, so übersieht
zwei Schwerpuncte befinden, der
cht des Waagebalkens, der andere,
ten an den Enden der Hebelarme
eiden Schwerpuncte der einzelnen Fig.
einschaftliche Schwerpunct beider 2.
der Lasten an den Enden der He-
d Q' und ihre gemeinschaftlichen
kann die durch letztere gezogene
oder unter der ersteren liegen oder
rd dann ferner vorausgesetzt, dafs
gebalkens die Schwerpuncte s und
Linie fallen, was bei vorzüglich
sofern statt finden mufs, dafs keine
n vorhanden ist, so sind drei Fälle
zusammenfällt oder S unterhalb s
n ersten Falle gilt alles das, was
age des Waagebalkens gesagt worden
ommt nicht jeder einzelne Schwer-
der Unterschied beider in Betrach-
gebalken nicht belastet, also S oder
dasjenige, was in dieser Beziehung
Hebel gesagt worden ist; wenn dagegen
und S gröfser ist als s, so kann s
ncte liegen, und dennoch wird der
ommen, wenn S unter dem Unter-
eser Fall findet zuweilen statt, dafs
nach Wegnahme der Schalen entwe-
der gar umschlägt, nach angehängten
orizontal einstellt, sofern S entweder
e unterhalb des Unterstützungspunctes
unausbleibliche geringe Biegung des
inabgerückt wird. Der gewöhnliche
S und s zusammenfallen, was auch

bei der oben erwähnten Prüfung der Richtigkeit angenommen wurde, dafs man nämlich versucht, ob sich der Waagebalken zuerst für sich allein und dann nach angehängten Schalen ins Gleichgewicht stellt; alle übrige Fälle des gegenseitigen Verhältnisses von s und S verstehn sich so leicht von selbst, dafs es überflüssig seyn würde, sie einzeln zu erörtern.

Der Waagebalken ruht in der Regel auf einer verticalen Säule, und diese trägt dann in ihrer Verlängerung einen getheilten Bogen, vor welchem die *Zunge* oder der Zeiger (*Index, Lingula;* aiguille, languette; *tongue of a balance*) sich nach beiden Seiten bewegt, aber auf 0 der Theilung zeigt, wenn der Zustand des Gleichgewichts vorhanden oder der horizontale Stand des Waagebalkens hergestellt ist. Diese Zunge ist lothrecht auf der Mitte des Waagebalkens befestigt, so dafs sie entweder in die Höhe steht oder herabhängt, oder die Zunge befindet sich in der verlängerten geometrischen Axe des Waagebalkens und ihre Spitze zeigt auf eine hinter ihr angebrachte getheilte Scale. Um beim Visiren die Parallaxe zu vermeiden, befindet sich bei den Pistor'schen Waagen hinter der Zungenspitze ein Spiegel und der horizontale Stand findet statt, wenn die Zunge ihr Bild im Spiegel deckt[1]. An manchen Waagen ist am Ende des einen Armes ein getheiltes Bogenstück angebracht, welches sich vor einem andern, dahinter befindlichen, Bogenstücke bewegt, und da die eine dieser Theilungen zugleich einen Nonius der andern abgiebt, so können hierdurch die feinsten Abweichungen gemessen werden. Soll aber der Waagebalken seinen horizontalen Stand richtig anzeigen, so mufs die ihn tragende Säule oder die an der Seite aufgerichtete, woran sich das getheilte Bogenstück befindet, vertical stehen, und damit dieses erreicht werde, mufs das Fufsbret der Waage einen horizontalen Stand haben. Um diesen herzustellen, bedient man sich einer kleinen Röhrenlibelle und corrigirt vermittelst der im Fufsbrete befindlichen Stellschrauben. Ist man vom horizontalen Stande des Waagebalkens sicher überzeugt, so kann dieser als Norm dienen, und das Fufsbret oder das Gestell so lange vermittelst der Stellschrauben gerichtet werden, bis die Zunge auf 0 der Theilung einspielt.

Das dritte Erfordernifs einer guten Waage ist ihre *Em-*

1 Dove a. a. O. S. 157.

heit genannt, die der *Trägheit* egensteht, wonach aber zugleich d, indem diese nur bis so weit heit reicht. Die Feinheit einer die Gröfse desjenigen Gewichts, Schalen gelegt den Zustand des las Niedersinken des einen Armes Betrachtungen werden indefs zei- ndig um so viel träger werden iegen sie bestimmt ist, und man dem aliquoten Theile der ganzen hr ihrer Beschädigung in jeder nd die man das *Totalgewicht*, so , so viel darauf zu wägen, ihre odurch also ein sicheres Mafs dieser Ian mufs in der That bewundern, g die Kunstfertigkeit der neuern eilt ist[2]. So werden unter den neten Waagen, die ehemals vor- wurden, genannt: die von Bul- os[4] $\frac{1}{96000}$, von Whitehurst[5]

ls Totalgewicht der Waage, wonach iejenige Last, welche man auf der- engewichte in der andern zu wägen X. 446 wird hierdurch das Doppelte omit die Krämerwaage beschwert ist,

of Mechanics p. 134. Verschiedene, n jetzigen Forderungen jedoch nicht die von Lüdicke in G. I. 123, von alischen Abhandlungen u. s. w. über- e von Tralles angegebene, von Men- riebene, verdient jedoch Berücksich- ere das, was Tralles in G. XXIX. waage überhaupt sagt. Dafs schon findlichen Waage bedient habe, wird en Resultaten seiner Wägungen der 39.

p. 50.

$\frac{1}{48000}$, von Alchornes[1] $\frac{1}{35000}$ des Totalgewichts angebend. Die ersten von damals ganz vorzüglicher Feinheit lieferte der berühmte Ramsden[2], namentlich eine für Fordyce $\frac{1}{394000}$, noch vorzüglicher aber eine für die königl. Societät $\frac{1}{700000}$ angebend, und zuletzt brachte er es bis $\frac{1}{1000000}$ der Tragkraft. Waagen von dieser letztern Feinheit liefern jetzt alle vorzügliche Künstler, die nämlich ein Kilogramm als gröſstes Totalgewicht zu tragen vermögen und dann bei einem Milligramm noch einen merkbaren Ausschlag geben[4], jedoch gehört eine solche allerdings schon zu den ausgezeichneten. Nach Baumgartner[3] gab eine vorzügliche Waage von Ramsden mit 10 Pfund Belastung noch bei 0,006 Grain einen merkbaren Ausschlag, was eine Feinheit von $\frac{1}{12000000}$ giebt. Fortin's Waagen geben mit 4 Pfund Belastung noch durch $\frac{1}{50}$ Gran einen Ausschlag, was $\frac{1}{1536000}$ giebt. Florenz in Wien verfertigt Waagen, die mit 4,5 Pfund belastet noch durch $\frac{1}{5}$ Richtpfennig einen Ausschlag geben, also von einer Feinheit $= \frac{1}{4418592}$. Von den beiden Waagen im physikalischen Cabinette zu Wien hat die eine nur 1 Pfund Tragkraft und Feinheit $= \frac{1}{800000}$, die andere aber 3 Pfund Tragkraft und $\frac{1}{1200000}$ Feinheit. Eine von Troughton für Shuckburgh verfertigte Waage gab mit 16384 Grains Belastung durch 0,01 Grain einen Ausschlag, hatte also $\frac{1}{1638400}$ Feinheit. Die von Robinson verfertigten Waagen haben bei 10,5 Zoll Länge des Waagebalkens 2000 Grains Tragkraft (Preis 14 Lstl.), bei 8 Zoll Länge 1000 Grains (Preis 11 Lstl.), bei 5,5 Zoll Länge 400 Grains (Preis 8 Lstl.) und geben mit 1000 Grains belastet bei 0,001 Grain einen Ausschlag, ihre Feinheit ist also $= \frac{1}{1000000}$. Dieser gleich ist die Feinheit der Pistor'schen Waagen, indem sie mit einem Kilogramm belastet für ein Milligramm einen Ausschlag geben[5]. Die feine Waage in Prag, welche durch v. Gerstner[6] geprüft wurde, hat nur 1 Pfund Tragkraft und giebt durch $\frac{1}{50}$ Gran einen Ausschlag, welches eine Empfind-

1 Philos. Trans. T. LXXVII. p. 205.

2 Ebend. T. LXXV. Journ. de Phys. T. XXXIII. p. 144.

3 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. 5. Aufl. Wien 1836. S. 82.

4 Baumgartner Supplementband. S. 59.

5 Dove über Maſs und Messen. S. 163.

6 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 182.

Ob übrigens diese Bestimmun-
gaben der Künstler selbst beruhn,
dürfte wohl noch fraglich seyn.
müfste man sich des oben ange-
l den Punct des Stillstandes bei
us den Oscillationsbogen finden.
Bestimmungen kann wohl keine
er die von v. GERSTNER, welcher
ien Sorgfalt anstellte.
ache liegenden Mittel zur Erlan-
bei den Waagen sind zuerst eine
ken; denn eine Kraft wirkt stär-
m, was jedoch im vorliegenden
ist, weil durch das Uebergewicht
andere, gleich lange Arm bewegt
durch den gröfseren Radius des
nere Abweichung vom horizonta-
erden, was auch durch eine län-
eise sicher erreicht wird. Ein
des Waagebalkens; denn da durch
die Lasten, womit der Waagebal-
ach die Masse des letztern selbst
d dieses um so leichter geschehn,
gebalken selbst hat, wodurch dann
ndert wird. Der wirklichen An-
l steht aber entgegen, dafs der
n darf, mindestens nicht in einem
nschaftlichen Schwerpuncte s und
ihn beschwerenden Gewichte tie-
unct fallen, als bestimmt ist, weil
Vaage ausnehmend wächst.
, den Waagebalken so leicht als
einer Tragkraft Abbruch zu thun,
zu erreichen gesucht. Allgemein
in Anwendung, dafs man densel-
cht und nach beiden Enden hin
icht minder, dafs man seine Höhe
Dicke, nach den hierüber bestehen-
der Körper[1]. Unter den ander-

S. 150.

weitig gewählten Mitteln, wonach die Construction der Waagebalken vielfach abgeändert ist, will ich bloſs die wesentlichsten erwähnen. Eins der besten ist das von MAGELLAN[1], welcher zwei hohle abgekürzte Kegel mit ihren gröſseren Grundflächen vereinigte, weil die Tragkraft hohler Röhren weit stärker ist als die massiver Cylinder von gleicher Masse. RAMSDEN wählte für seine feinen Waagen diese nämliche Construction, MENDELSSOHN[2] aber änderte sie etwas ab, indem er in der Mitte zwischen beiden Kegeln einen hohlen Würfel anbrachte, und da die Metalldicke bei diesen Kegeln nur sehr gering ist, so versah TROUGHTON[3] sie im Innern mit Ringen. Bei den neuen, von ROBINSON verfertigten, Waagen besteht der 10 Zoll lange Waagebalken aus einem rhomboidalen Rahmen aus Glockenmetall. Einen sehr zweckmäſsigen Bau haben die aus der Fabrik von HAAS und HURTER in London gelieferten Waagebalken. Sie sind nur etwa 2 Lin. dick und bestehen aus einem Kreise, von welchem nach beiden Seiten Streben ausgehen, die durch zwei andere gebogene Streben gesteift sind und aus Glockenmetall verfertigt bei groſser Leichtigkeit dennoch eine hinlängliche Steifheit besitzen. Die Biegungen erfordern groſse Genauigkeit, wenn sie auf beiden Seiten einander vollkommen gleich seyn sollen; minder schwierig ist es daher, die Stäbe des rhomboidalen Rahmens gerade zu machen und durch Querstreben zu steifen, woraus dann eine andere, gleichfalls gebräuchliche, Form der Waagebalken hervorgeht, wie man sie in Wien zu verfertigen pflegt[4], wonach dieselben nur eine Strebe ungefähr in der Mitte jedes Armes haben, wie aus der Zeichnung leicht zu erkennen ist. KÖRNER's durchbrochene Waagebalken unterscheiden sich von diesen bloſs dadurch, daſs sie in der Mitte, in ihrer Längenaxe, noch eine gerade schmale Stange haben. Mehrere ausgezeichnete Künstler verfertigen neuerdings die Waagebalken solid von Stahl, z. B. TROUGHTON, bei dessen späteren Waagen der Balken aus einer Stahlstange von ein Fuſs Länge und ein Viertel Zoll Dicke besteht, dessen Höhe in der Mitte etwa

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

1 Journ. de Phys. T. II. p. 252. T. XVII. p. 43.
2 G. XXIX. 153.
3 Philos. Trans. 1798. p. 182.
4 BAUMGARTNER's Naturlehre, Supplem. Bd. S. 58.

nur einen halben Zoll beträgt.
dafs ein solcher Balken sich
eiden Armen völlig gleich dar-
AHN[1] und FORTIN[2] diese ge-
t STUDER[3] darauf aufmerksam,
magnetisch werden und nach
Neigung annehmen könnten.
lernen Waagebalken bleibend
die eisernen einer Einwirkung
nterliegen, ist wohl nicht zu
Einflufs auf die feinsten Ge-
e, müfste erst durch die Er-
af jeden Fall ist die ablenkende
ten sich mehrere Bedingungen
erkbar werden sollte. Weiches
nie bleibend magnetisch und
eridiane durch den tellurischen
rität an, die jedoch zur Erzeu-
schwach seyn möchte, aufser-
olches Eisen nicht zu Waage-
n bleibendem Magnetismus die
weichen Stahle gleichfalls sehr
fste der Nordpol des magneti-
rden oder lothrecht auf den
ht nach Süden, gerichtet seyn,
Vägungen einen Einflufs haben
uche so vieler Waagen keine
keiten bekannt geworden sind,
vindend zu seyn. RITCHIE[4]
für einen sehr geringen Preis
ölzernen, nach den Enden et-
rtigen, diese in der Mitte durch
rgelegten Glasröhren zu unter-
che Federmesserklingen an den
halen anzubringen, und um die
pparate entspringenden Unrich-

, I. p. 9.

. N. IX. p. 118.

tigkeiten zu corrigiren, DE BORDA's *Princip der doppe* *Wägung* anzuwenden. Allein wenn gleich diese letztere I thode sehr sinnreich und in einzelnen Fällen mit Vortheil zuwenden ist, so ist sie doch im Allgemeinen zu zeitraub und dafs hölzerne Waagebalken den jetzigen Forderungen Ganzen nicht genügen, geht aus den bekannten Gesetzen i die Bedingungen guter Waagen sattsam hervor. Die sogena ten *Goldwaagen*, welche zum Wägen der Goldstücke dien und die *Probirwaagen*, womit der Gehalt der Erze in klei Quantitäten bestimmt wird, sind blofs für sehr geringe La eingerichtet und haben daher nur kurze und leichte Bal sowohl als auch Waagschalen.

Die dritte Bedingung zur Erreichung einer möglic grofsen Empfindlichkeit ist die *Entfernung der Reibung*. W die Axe des Waagebalkens ein Cylinder und wälzte sich e
Fig. 8. ser in einer krummen Oeffnung, so müfste bei den Oscilla nen des Waagebalkens der Punct 0 nach m und rückw durch 0 wieder nach n geschoben werden, was ohne Reib nicht geschehn könnte. Die hieraus erwachsende Trägheit Waagen zeigt sich dadurch, dafs sich die Zunge bei den Os lationen nicht jederzeit wieder genau auf das 0 der Theil einstellt, sondern abwechselnd rechts oder links davon abwei und dieses wird um so mehr statt finden, je gröfser die wägenden Lasten sind; denn die Gröfse der Reibung ist kanntlich der Last direct proportional; dabei kommt noch Lage des gemeinschaftlichen Schwerpunctes (S + s) in Betrac tung. Läge derselbe in der geometrischen Axe des Cylind welcher die Axe des Waagebalkens bildet, so würde letzte bei vorhandenem Gleichgewichte in jeder Lage zur Ruhe ko men, läge er aber unter derselben, so müfste er bei jeder I wegung gehoben werden und es käme zur Reibung noch Ueberwindung dieser Last als ein Mittel zur Vermehrung Trägheit hinzu, bei einer Lage oberhalb derselben müfste al der Waagebalken, sofern die Reibung dieses nicht hindert, u schlagen. Hiervon wird später die Rede seyn; vorerst nehn wir daher an, dafs der gemeinschaftliche Schwerpunct in geometrische Axe des Cylinders falle, welchen die Axe Waagebalkens bildet. Ist dann die Unterlage eine willkürlic
Fig. 9. concave Fläche i0k, so mufs die verticale Linie durch d Schwerpunct der Axe auf den tiefsten Punct 0 fallen, we

; Waagebalkens auf den Zustand
werden und also eine genaue
enn rückte die Axe nach c, so
hren Schwerpunct nicht unter-
unct fiele in f, die beiden Län-
cht mehr ac = cb, sondern
ine gröfsere Last in a erforder-
l wieder herzustellen[1]. Ruhet
balkens auf einer geraden Flä-
ern weg, als sie sich in eine
der gemeinschaftliche Schwer-
Axe des Cylinders fallen darf,
ens bildet, weil sonst die He-
jeder Lage zur Ruhe kommen
nen Axen auch in diesem Falle
statt. Angenommen es liege
nct der Linie ab so in O, dafs Fig. 10.
n nehme dann die Lage de an,
in i, der Waagebalken würde
zur Ruhe kommen, zugleich
fses Uebergewicht erforderlich
talen Lage zu bringen, welches
i gegeben ist, da fi kleiner ist
ls in.
ie Unterlage eine gerade Ebene
kommen mufs; denn eine con-
halbmesser, als die Axe, würde
mmt gänzlich aufheben, allein
n, abgerechnet, dafs die Bedin-
gleichfalls wegfiele. Die Axe
wird am vortheilhaftesten ver-
die Gröfse im ist dem Halb-
portional. Da aber die Axe zu-
aft haben mufs, so kann diese
h die sogenannte *Messerschneide*
chärfe als ein Theil der Ober-
schwindend kleinem Halbmesser

zeit erforderlichen Uebergewichtes
uche. Th. I. S. 176.

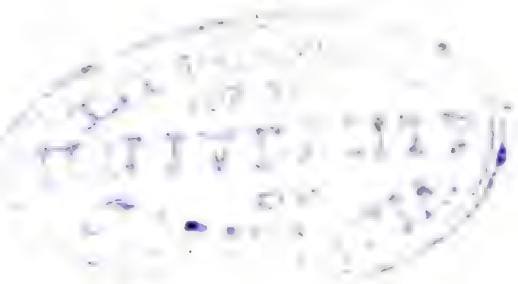
nach LAPLACE[1] zu betrachten ist. Die Reibung muſs daher um mehr verschwinden, je feiner die Schneide ist; allein da wird zugleich ihre Haltbarkeit bedeutend vermindert, und macht aus diesem Grunde den Winkel, welchen die beiden e nen Flächen der Messerschneide mit einander bilden, d kleiner, je geringer die Tragkraft seyn soll. Bei sehr gro Waagen beträgt dieser Winkel nicht viel weniger, als 90 G bei mittleren gewöhnlich 60°, bei feinen wird er bis 30° wohl noch weniger verringert, und dabei besteht diese Axe gehärtetem Stahle. Zugleich versteht sich von selbst, daſs Schneide eine gerade Linie bilden müsse, was mit einer zw ten Bedingung zusammenfällt, wonach die geometrische dieser Axe der Waage mit der geometrischen Axe des Wa balkens zwei rechte Winkel bilden müsse. Die Nothwend keit dieses Erfordernisses läſst sich leicht nachweisen. W

Fig. 11. nämlich ab die Axe des Waagebalkens und cd die mit di rechtwinkelige Schneide, so bliebe die Länge der beiden A bei jeder Drehung in der verticalen Ebene durch ab stets selbe; hätte aber diese Schneide die Lage ef, so würde bei genannten Drehung die wechselnde Unterstützung inner der Ebene gefh fallen, und dadurch könnte nicht sowohl Ungleichheit beider Hebelarme entstehn, als vielmehr die wegung des Waagebalkens von der verticalen, durch seine im Zustande des Gleichgewichts gelegten Ebene abwei müſste. Inzwischen werden geübte Künstler schon Sorge gen, der Axe der Messerschneide eine solche perpendicu Richtung auf die Axe des Waagebalkens zu geben, daſs der Abweichung kein merklicher Fehler erwachsen kann. Auf dem müssen die Axen der beiden Messerschneiden an Enden des Waagebalkens zu der ihn tragenden mittleren rallel seyn, eine Bedingung, die man gewöhnlich als er voraussetzt und die daher nicht besonders erwähnt zu we pflegt. Neuerdings aber hat GAUSS[2] diesen Gegenstand ger erörtert und zugleich eine vortreffliche Methode zur Prü und Berichtigung dieses Fehlers angegeben. Weil nämlich Tragstücke, an denen die Waagschalen hängen und w auf den äuſseren Messerschneiden ruhen, beim Anhalten

1 S. Art. *Pendel*. Bd. VII. S. 340.

2 Gött. gel. Anzeigen. 1837. S. 401.

n werden, so legen sie sich
es Waagebalkens nicht stets
sserschneiden, als vorher, was
derselben mit der mittleren
mmenem aber ein verändertes
le bewegen sich die äufseren
des Waagebalkens auf einer
uf einer Kegelfläche, und das
aher beim Steigen des Hebelar-
sinken, während für das con-
halten statt findet. Zur Prü-
ehlers wendet Gauss einen
ertical auf das Tragstück auf-
Ebene zu der Schneide nahe
le des völligen Parallelismus
der mittleren die Ebene des
balkens sich selbst parallel
in schicklicher Entfernung
ides unverrückt bleiben, für
n Messerschneide aber beim
kens gleichfalls steigen und
geschehn kann.
nan statt der Messerschneide
lung zu bringen pflege, die
n nämlichen Winkel haben
Sehr gebräuchlich ist diese
nat Mohr[1] dieselbe als bei
, ohne jedoch die Richtig-
rung darzuthun. Es scheint
eine vorzügliche Empfind-
auffallend, dafs die Künstler
r gewifs höchst selten ge-
kannten, sehr empfindlichen,
es ist daher möglich, dafs
dem Gebrauche sich uner-
n erinnere ich mich einmal
gar Spitzen von Edelstein
zu vermeiden, was jedoch



den erwünschten Erfolg nicht hatte. Möglich bleibt es a immer, dafs die feinen, wenn auch in einen Winkel zwiscl 30 bis 60 Grad zugeschärften, Spitzen sich theils abnutz theils etwas in die Unterlage, ungeachtet deren Härte, eindrücl oder einschleifen und dadurch den beabsichtigten Zweck v fehlen. Dieses ist um so wahrscheinlicher, da Tralles[1] v sichert, dafs in einem kleinen Winkel zugeschärfte Mess schneiden, wenn sie auf Cylindern von Achat ruheten, sich n einigem Gebrauche unter dem Mikroskope ausgebröckelt ze ten, weswegen dieser genaue Physiker auch ebene Achatplat zur Unterlage verlangt, damit die Messerschneiden in mehre Puncten aufliegen.

Die Reibung mufs nicht blofs durch die angegebene E richtung der Axe des Waagebalkens, sondern auch durch der Unterlage vermindert werden. Ehemals ruhete die Messerschneide geschärfte Tragaxe des Waagebalkens in Fig. 12. Löchern oder Pfannen der sogenannten *Scheere* (*trutina*; châs *cheeks*), die verhältnifsmäfsig sehr weit und zuweilen au unten bei 0 mit eingelegten schmalen, ebenen und glashar Stahlplatten versehen waren, die Scheere selbst aber wurde ihrem obern Ende vermittelst eines Ringes an einem Hal aufgehangen und trug somit die ganze Waage sammt Last. In der neueren Zeit haben die Künstler vorgezogen, Fig. 13. Messerschneide auf zwei Unterlagen ab ruhen zu lassen, auf zwei Säulen befestigt sind oder die obern Enden einer einer einzelnen Säule befestigten oder auch beweglichen Ga bilden, statt der Zunge aber am Ende des einen Armes e Spitze anzubringen, die an einer seitwärts befestigten Scale Zustand des Gleichgewichts und die Abweichungen von der selben (den Ausschlag) angiebt. Die Unterlagen sind wei concav oder bei ganz feinen Waagen eben, zuweilen halbc linderförmig oder gar zur Messerschneide zugeschärft, so d die Berührung beider Schneiden, dieser und der der Axe, nur einem Puncte statt findet, und bestehen entweder aus glash tem, fein polirtem Stahl, oder besser aus Achat; weil sich al die härteste Messerschneide durch langen Gebrauch abnutz würde, wenn sie fortwährend auf der fein polirten Unterl mit ihrer ganzen Last ruhete, so hat man verschiedene V

---

1 G. XXIX. 443.

ustande der Ruhe die Waage
gleich ein anderer Zweck er-
a grofsen und dann zu lange
den und somit die Zeitdauer
rzt; denn je empfindlicher die
let man das richtige Gewicht,
Theilung einstellt. Bei eini-
anismus so eingerichtet, dafs
einheit das Gewicht annähernd
erst die schärfste Bestimmung
Anwendung gebrachten Vor-
eniger gebräuchlichen Gabeln
lche derselbe herabsinkt und
nterlagen der Messerschneide
inschnitte von einem klei-
erschneide, in welche die
n sich einlegt, ohne dafs
lbst eine Unterlage berührt.
rrichtung besteht darin, dafs
eren Unterlage von Messing
hgewicht annähernd herge-
in die Höhe gerückt wird,
g zu gelangen, womit bei
vorzüglich gut polirte und
bunden ist, die zuletzt unter
härfsten Bestimmungen ge-
smen, wodurch diese He-
gt werden, ausführlich zu
, da jeder Künstler die den
en zu wählen pflegt[1], und
diese dazu dienen können,
balkens aufzuheben, diesen
pielen zu lassen. Für die-
em Fufsbrete der Waagen
f denen die Waagschalen
mit die Oscillationen begin-
wahrnimmt, ob die zuerst

ibt Prony in Ann. de Chim.

niedersinkende Waagschale noch ein merkliches Uebergewich hat, was dann durch Wegnehmen angemessener Gewichte ode Zulegen derselben in die andere Waagschale compensirt wer den kann.

Die nämlichen Gründe, welche die Reibung der Axe z vermeiden gebieten, machen dieses auch bei der Aufhängun der Waagschalen nothwendig, und man wendet zur Erreichun dieses Zweckes ähnliche Mittel an. Gewöhnlich hängt d verhältnifsmäfsig weite Ring, woran die Waagschaale befesti und welcher inwendig zugeschärft wird, über einer Messe schneide von 30 bis 60 Grad Zuschärfung, die am Ende d Waagebalkens auf dessen Längenaxe rechtwinklig, also mit d Tragaxe parallel laufend, angebracht ist. Bei einigen Waage befindet sich an den Enden des Waagebalkens eine mit d Längenaxe des letzteren parallele, nach oben gekehrte Messer schneide, auf welcher nach Schaffrinski ein stählerner Halb cylinder so ruhet, dafs beide sich nur in einem Puncte berüh ren, Cavendish aber zieht eine Achatplatte dem Stahlcylind vor. Dafs die eine dieser Messerschneiden durch eine Mikro meterschraube etwas verrückt werden könne, um die Länge d Hebelarme dadurch zu reguliren, ist bereits oben bemerkt worden.

Ein auf jeden Fall beachtenswerthes Mittel zur Verminde rung der Reibung überhaupt und insbesondere bei zunehmende Lasten hat Herapath[1] in Vorschlag gebracht. Sein Waage
Fig. 14. balken, welcher nach der Zeichnung aus einem blofsen Stab besteht, hat die Schneide der ihn tragenden Axe nach obe gerichtet und hängt an einem Hufeisenmagnete von hinlängli cher Tragkraft, dessen Schenkelenden abgerundet sind, u von der Schneide nur in einer feinen Linie berührt zu werden zugleich aber wird gerathen, zwei Ringe so anzubringen, daf der Waagebalken durch sie gehalten würde, wenn er durch z grofse Belastung herabfiele. Zur Unterstützung der Waagscha len dienen feine aufstehende Stahlspitzen, und man gewahrt a den Enden zugleich die Mikrometerschrauben, welche die Läng und den Schwerpunct des Waagebalkens zu corrigiren diene Da sich alles Uebrige leicht von selbst versteht, so bemerk ich nur, dafs die Reibung hierdurch nicht mehr aufgehobe wird, als durch die Mittel, die man für diesen Zweck bei de

1 New Annals of Philos. T. II. p. 291.

bringen pflegt; denn es ist
Messerschneide gegen die
oder die magnetische Kraft
des Hufeisens zieht, wobei
, als die erstere, weil sonst
l die Schenkel des Magnets
, welcher den Achatplatten
st allerdings, dafs die Rei-
ımt, allein dennoch ist die-
en schwersten Lasten ist sie
aage sie giebt, und gerade
vobei sie nach diesem Vor-
: man die gröfste Feinheit.
dafs das einen sehr feinen
rschneide die gröfseren Cy-
berührt und beide sich auf
die übrigen Nachtheile nicht
lie nicht stets unveränderli-

ı W. Weber[1] bekannt ge-
h Bessel[2] angegebene, von
bwickelung eines biegsamen
ıdet. Der Waagebalken be-
nit vier feinen abgerundeten
velche die den Balken und
gewickelt sind. Für sehr
er aus Nähnadeln und die
genannter Knopfmacherseide,
als die vorgeschlagenen Co-

der Feinheit einer Waage
ncte und des Unterstützungs-
ıgleich der sogenannte *Aus-*
ist diese Untersuchung in
ıage bei weitem die wichtig-
ein zweiarmiger Hebel be-
tzung, dafs die Schwerpuncte

15.
340.

der Lasten und Hebelarme, also P und P′, p und p′ in ei geraden Linie liegen, welches auch für gut gearbeitete Waag balken so weit als richtig vorausgesetzt wird, als die Ku dieses erreichen kann; man nimmt die Abweichung hierv für verschwindend an. Liegt dann der gemeinschaftliche Schw punct S dieser zwei Paare von Schwerpuncten mit dem Unte stützungspuncte gleichfalls in der nämlichen geraden Linie, würde bei Abwesenheit aller Reibung und bei vorhanden Gleichgewichte der Waagebalken in jeder Lage ruhen, dur die geringste Vermehrung der Last aber die verticale Richtu annehmen, und da ein verschwindend kleines Gewicht physis nicht darstellbar ist, so würden Wägungen mit einer solch Waage nicht bloſs schwierig, sondern eigentlich unmögli seyn. Läge der Unterstützungspunct unter jener geraden Lin so würde der Waagebalken bei der geringsten Bewegung un schlagen und der gemeinschaftliche Schwerpunct unter d Unterstützungspunct herabsinken, wie hier nur kurz wiederh werden möge; der gemeinschaftliche Schwerpunct muſs al um ein Weniges unter dem Unterstützungspuncte liegen, ur es fragt sich also, wie die Feinheit der Waage mit dieser La und den Gröſsen dieser Schwerpuncte im Verhältniſs steh

Fig. 15. Es sey zu diesem Ende PQ der mit den gleichen Gewichte P und Q belastete und dadurch in den Zustand des Gleichge wichts gebrachte Waagebalken, dessen eigenes Gewicht = W heiſsen möge; es werde dann die Last P um die Gröſse vermehrt, und dadurch erhalte der Waagebalken die Lage P′Q Ferner sey C der Unterstützungspunct, S der gemeinschaftlic Schwerpunct der Lasten und des eigenen Gewichtes des Waa gebalkens, welcher also durch das Zulegen von p nach S′ ge hoben wird und den Ausschlagwinkel SCS′ giebt. Es heiſs dann:

$$PCH = a;\ PH = f;\ CH = g;\ CS = h \text{ und } SCS' = \varphi,$$

so ist wegen Aehnlichkeit der Dreiecke:

$$P'F = P'C \text{ Sin. } (a - \varphi) = P'C\,(\text{Sin. } a \text{ Cos. } \varphi - \text{Cos. } a \text{ Sin. } \varphi)$$
$$= f.\text{Cos. } \varphi - g.\text{Sin. } \varphi,$$
$$Q'G = Q'C \text{ Sin. } (a + \varphi) = QC\,(\text{Sin. } a \text{ Cos. } \varphi + \text{Cos. } a \text{ Sin. } \varphi)$$
$$= f.\text{Cos. } \varphi + g.\text{Sin. } \varphi,$$
$$S'K = CS' \text{ Sin. } \varphi = h \text{ Sin. } \varphi.$$

Nach den Gesetzen des Gleichgewichts ist aber

$$(P + p)\ P'F = P \times QG + Q \times S'K,$$

e substituirt geben:

$$.Cos.\varphi + g\, Sin.\varphi) + Q\, h\, Sin.\varphi.$$

$$\frac{pf}{p)\, g + Q\, h}.$$

ist also dem Zulegegewichte
ect proportional, steht aber
Belastungen und des eigenen
llte man das Zulegegewicht
Handel) gegen die gesammte
rschwindend betrachten, so
ür einen gleichen Ausschlag-
proportionales Zulegegewicht
Für $g = 0$ ist

$$: \frac{pf}{Q\, h},$$

, d. h. wenn die Aufhänge-
ützungspuncte in eine gerade
ls auch $h = 0$, oder wenn
des Waagebalkens mit dem
den Ebene liegen, so ist für
gegewicht die Tangente des
hört einem rechten Winkel
ch vertical.
orderliche Feinheit zu geben,
dafs der Waagebalken sich
ich, denn eine geringe, wenn
st bekanntlich deswegen un-
ige Elasticität hat; allein die
nerklich seyn, weil sonst der
r Lasten und auch der des
nterstützungspunct herabsinkt,
aber die Schwerpuncte der
ter dem Unterstüzungspuncte
balken sich in horizontaler
ichte einstelle, so darf der
d es ist also die Feinheit der
andes, der Leichtigkeit des
der Kleinheit der darauf ge-
derung der Reibung propor-

tional. Sofern es sich hier zunächst nur um die Lage de Schwerpunctes und des Unterstützungspunctes handelt, sucl man diese möglichst genau in die nämliche gerade Ebene od Linie zu bringen. Um in dieser Beziehung feine Correctione möglich zu machen, pflegen manche Künstler in einer vertica len Ebene über oder unter dem Unterstützungspuncte ein Ge wicht mit einer Mikrometerschraube anzubringen, welches de Unterstützungspuncte mehr genähert oder weiter davon entfer werden kann, um dadurch die Lage des Schwerpunctes zu re guliren. Ebendieses geschieht auch dadurch, daſs die Unter lage des Hakens, woran die Waagschale hängt, am einen He belarme mittelst Mikrometerschrauben etwas mehr gehoben od tiefer herabgesenkt wird, und so wie am einen Hebeları die Correction für die Länge der Hebelarme angebracht wir befindet sich am andern die Correction für die Lage de Schwerpunctes. Bei der Bestimmung des den Ausschlag be wirkenden Zulegegewichts ist auf die Reibung keine Rücksic genommen, welche den Ausschlagwinkel kleiner machen muſ Da die Reibung den Lasten proportional ist, so läſst sich auc diese berechnen[1]. Behalten P, Q und f die angegebene Be deutung, heiſst m der Reibungscoefficient, r der Abstand de auf der Unterlage ruhenden Messerschneide vom Mittelpunct der Drehung und p' das Gewicht, welches die Reibung über windet, so ist

$$m(2P+Q+p')r = fp',$$

und hieraus wird

$$p' = (2P+Q)\frac{rm}{f-rm}$$

gefunden. Man nimmt m = 0,1 an, allein da bei den feine Waagen die Reibung eine wälzende ist und die Flächen de Messerschneide nebst ihrer Unterlage fein polirt sind, so is jener Werth sicher noch bedeutend zu groſs.

Liegt der Schwerpunct der belasteten oder unbelastete Waage unter dem Unterstützungspuncte, so wird ersterer gehoben, wenn einer der Hebelarme herabsinkt, er wird abe wenn die herabdrückende Kraft nachläſst, wieder zur tiefste Lage herabsinken und somit eine pendelartige Schwingung erhalten, die er zugleich den Hebelarmen mittheilt, die dan

---

1 Baumgartner Supplementb. S. 48.

Weil aber die kleine Oscil-
gen Hebelarme in Bewegung
ge einem sehr langen Pendel,
o gröſser sind, je kleiner der
Unterstützungspuncte im Ver-
e ist. Empfindliche Waagen
hierin liegt ein Hauptgrund
tdauer bei feinen Wägungen;
mer, wenn sie mit Gewich-
n und Lasten[1].
aufwärts oder herabwärts ste-
ebalkens angebrachten Zungen
ewisse Theile getheilt. Wird
gewichte stehende Waagebal-
richt bis auf einen oder etliche
, so kann man hieraus den
las Gewichtstheilchen finden,
e zugehört, und da für kleine
h gesetzt werden können, so
ge Gewicht bestimmen, ohne
te steht, auch selbst in dem
heile kleineren Gewichten zu-
ist. Um dieses genauer zu
gt, daſs bei gleicher Belastung
alkens sich in der horizonta- Fig. 16.
tellt sie sich dann bei aufge-
gten Lage P'P ein, so ist
rd durch das Uebergewicht p
le herabgedrückt. Legt man
ekanntes Gewichtstheilchen p',
ngesetzte Lage herab, so daſs
P' (P + p') zur Ruhe kommt,
ersten Falle $P' + P = 2P + p$,
$P + p + p'$. Nennen wir die
substituiren wir diese in die
e Formel, so ist

$$\frac{f}{g + Qh}$$

I. S. 178.

und

$$\text{Tang.}\,\varphi' = \frac{(p'-p)f}{(2P+p+p')g+Qh}.$$

Wegen des unbedeutenden Unterschiedes können beide Ner füglich einander gleich gesetzt werden, und man erhält da wenn man die Tangenten den Winkeln proportional setzt statt dieser die Scalentheile m und n einführt,

$$m:n = p:p'-p$$

oder das erste und zweite Glied addirt

$$m+n:m = p':p, \text{ also } p = \frac{p'm}{m+n},$$

also auch

$$P' = P + p = P + \frac{m}{m+n}p',$$

wodurch das den beobachteten Scalentheilen zugehörige Gewi p bekannt wird, oder dieses letztere selbst, wenn man s nicht im Besitze eines solchen (z. B. wegen seiner Kleinh befindet.

Es dürfte schwer seyn, zu bestimmen, welche Form verschiedenen, von neuern Künstlern verfertigten, Waagen Vorzug verdient, und welche daher geeignet wäre, hier z Beschluſs der Untersuchung beschrieben zu werden. Es m daher hierzu die von RAMSDEN verfertigte gewählt werd wie THOM. YOUNG[1] sie beschreibt, weil dieser Künstler z erst diesen Apparaten die erforderliche Genauigkeit und Fei
Fig. 17. heit gab. Ihre Construction ist aus der Zeichnung genüg ersichtlich und bedarf daher keiner ausführlichen Beschreibu

b) Schnellwaage.

Die sogenannte Schnellwaage, auch römische gena (*Statera romana;* Balance romaine; *Steelyard*, *Stilyar* beruht auf dem Principe des Hebels mit ungleich langen A men. WALLIS[2] leitet mit POCOCK den Namen aus dem Orie her, wo diese Art Waage frühe bekannt war, und da das längern Hebelarme hängende Gewicht die Gestalt eines Gran apfels (arab. *Romman;* hebr. *Rimmon*) hatte, so soll sie hie nach noch jetzt dort *Rommana* heiſsen. Den Namen Schnel

1 Lectures on Nat. Philos. Lond. 1806. 2 T. 4. T. I. p. 126.
2 Mechanica. In Opp

n in der That durch das Ver-
r wägen kann; auch gewährt
heil, dafs man nicht gezwun-
aufzulegen, als die zu wä-
erdem der tragende Haken nur
Waage, der daran hängenden
thin weniger, als bei der Krä-
es Gewicht und gleiche Bela-

aagen sind so eingerichtet, dafs
serer und kleinerer Lasten die-
e zwei ungleiche Abtheilungen
ir geringere Lasten am Haken c Fig. 18.
Verhältnifs der Längen a c zu
g aber am Haken c' mit dem
einer flachen Stange bestehende
en zugeschärft und die Schärfe
welche der gleichfalls zuge-
wichte P eingehängt wird, bis
rden ist und die auf der zuge-
hl das gefundene Gewicht an-
nothwendige, aber im Ganzen
des scharfen Hakens auf der
Waagebalkens werden beide, ins-
lich abgenutzt, und es ist daher
Gestalt eines, wenn auch gegen
Parallelepipedums zu geben und
en, an welcher in beiden Lagen
es Hakens in einem Oehre auf-
nach Herstellung des Gleichge-
te des Waagebalkens durch ei-
Schiebers ablieset. Den Werth
der beiden Hebelarme, aus dem
es Laufgewichtes und der Waag-
nden wäre zwar nicht schwer,
genaue Messungen dieser Grö-
er sowohl leichter als auch si-
n, wobei es nur einiger genauer
dazwischenliegenden mit genü-
Zur Erreichung der erforderli-

chen Empfindlichkeit werden übrigens die Regeln in Anwend gebracht, welche so eben für die Krämerwaage angegeben wor sind. Da sich indefs die Gewichte in kleinere Theile zerfä lassen, als die Längen der Hebelarme, so ist mit der Schn waage keine so grofse Feinheit zu erlangen, als mit der K merwage.

Arzberger[1] hat vor bereits längerer Zeit die Schn waagen mit den Krämerwaagen auf eine so zweckmäfsige W vereinigt, dafs man glauben sollte, diese Constructionsart wi allgemeiner eingeführt seyn, als bisher der Fall war, wo man sieht, dafs für den praktischen Gebrauch nur ganz ein che Werkzeuge verlangt werden, die sich ohne weitere I
Fig. 19. berlegung mechanisch behandeln lassen. Der Waagebalken . ist so eingerichtet, dafs er mit zwei Schalen an den bei Enden als gleicharmige Waage dienen kann. Hängt man e viermal so schwere Schale an den Haken D, so wiegt man vierfache Gewicht der Gewichtstücke, und wenn die Schale a aufgehangen ist, das sechzehnfache. Zugleich aber kann n sich eines Laufgewichtes bedienen, welches gegen 9 Pf wiegt, dieses auf der eingetheilten Stange verschieben und mit, wenn die Last an D hängt, von 3 bis 35 ℔., wenn aber an E hängt, von 12 bis 135 ℔ abwägen.

Aufser der genannten Schnellwaage giebt es vorzügl noch die sogenannte *dänische*[2] (zuweilen auch schwedische nannt). Sie unterscheidet sich dadurch, dafs sowohl die Wa schale als auch das Laufgewicht ihre Stelle am Hebela nicht verändern, indem letzterer dagegen selbst in einer Hü
Fig. 20. verschoben wird, die zugleich die Axe enthält. Die Zeichn giebt ein ungefähres Bild ihrer Construction. Man kann derselben sowohl geringe als auch grofse Lasten wägen, wenn der stählerne vierkantige Waagebalken von etwa drei gröfserer Höhe als Dicke in feine Theile getheilt worden ist, der einen Seite des Schlitzes in der Hülse, durch welche Zahlen abgelesen werden, sich ein Nonius befindet, endl aber die Messerschneiden, Unterlagen und überhaupt alle Th der Waage nach den für die Krämerwaage angegebenen Reg

---

1 G. XLVI. 294.

2 Die Engländer nennen sie Danish balance oder danish st yard.

genau gearbeitet sind, so genügen solche Waagen auch zur Bestimmung sehr kleiner Gewichtunterschiede.

Sehr fein construirt waren die Schnellwaagen von PAUL[1] in Genf, und sollten ebenso feine Gewichtsbestimmungen angeben, als vermittelst der Krämerwaagen gefunden werden, was jedoch nur dann möglich ist, wenn man den Waagebalken sehr leicht und den längeren Arm verhältnifsmäfsig sehr lang macht, wodurch der Apparat jedoch zum Wägen bedeutender Lasten untauglich wird. Sehr fein gearbeitet und mit verschiedenen ...emthen versehn sind die *chinesischen Schnellwaagen*[2] aus ...lfenbein, die blofs für geringe Lasten dienen; RAMSDEN[3] aber ...chtete eine gleichfalls feine Schnellwaage zur Bestimmung des ...c. Gewichts der Körper ein, die HASSENFRATZ[4] dadurch ...verbessern suchte, dafs er auf dem längeren Hebelarme zwei ...schiebbare Laufgewichte anbrachte, deren eins durch seine ...llung Gramme, das andere Centigramme angiebt, woraus man ...och sogleich ersieht, dafs die Feinheit weit hinter derjeni... zurückbleibt, welche durch gleicharmige hydrostatische ...agen erreicht wird. Ungleich häufiger dagegen bedient man ... der Schnellwaagen zum Wägen grofser Lasten, jedoch ge...h dieses ehemals häufiger als jetzt, wo man für diesen ...ck das Princip der zusammengesetzten Hebel anwendet und ...rch bedeutend an Raum erspart. Unter die älteren be...nt gewordenen Waagen ist vorzüglich die von LEUPOLD[5] ...J. 1718 in Leipzig angelegte grofse *Heuwaage* zu zäh... welche zwei Aufhängepuncte hatte und mit drei Lauf...chten, die bei den schwersten Lasten alle aufgelegt wur... von 3 bis 58 Centner zog, wobei sie auf ein halbes ...d einen Ausschlag gab. Der Waagebalken hatte 6 Leipz. ... Länge, das Laufgewicht wog 1,25 Centner, und über ...elben war ein Senkel angebracht, um den horizontalen ...d des Waagebalkens anzugeben.

Bei den einfachen Schnellwaagen mufs der eine Hebelarm

1 S. GREGORY's Mechanics. T. II. p. 405. Vergl. Philos. Mag.

2 GREW's Museum. p. 369. Hutton Dict. T. II. p. 456.

3 Account of Experiments to determine the spec. gravities of ... Lond. 1792. Journ. de Phys. 1792. Juin.

4 Ann. de Chim. An. 6. N. 76. G. I. 158.

5 Theatrum stat. univ. Part. I. Cap. 6.

sehr lang seyn, wenn grofse Lasten damit gewogen wer
sollen; denn da die Axen nothwendig massiv seyn müss
um die erforderliche Stärke zu haben, so lassen sie sich ni
einander so nahe bringen, um dem kürzeren Hebelarme das
forderliche Verhältnifs gegen den längeren zu geben. E
wesentliche Verbesserung dieser Apparate beruht daher auf d
Principe, mehrere Hebel mit einander zu verbinden, um
durch an Raum zu sparen, und hiernach hat man insbesond
in der neuern Zeit die Waagen für grofse Lasten ausnehm
bequem eingerichtet. Eine alte Einrichtung dieser Art si
Fig. man bei der *schwedischen Schiffswaage.* Sie befindet sich
21. einem eignen Gestelle, und hängt an zwei Seilen, die ü
Rollen gehn und mittelst einer gezahnten Stange und ei
Getriebes angezogen werden, um den Tragbalken, woran
Waage hängt, und diese zugleich mit in die Höhe zu wind
wenn die Last bereits auf die Schale gelegt worden ist. Letzt
hängt zwischen den beiden Unterstützungspuncten des g
fseren Waagebalkens, dessen längerer Arm c durch den k
zeren des zweiten d gehoben wird, an dessen längerem Arm
die Waagschale mit dem Gewichte P hängt. Beide Waag
balken müssen im Zustande des Gleichgewichts sich in ho
zontaler Lage befinden, welches beim stärkern untern aus
Construction von selbst folgt, wenn es beim obern der F
ist, und bei dem letztern wird es durch die Zunge u ang
zeigt, die in diesem Falle mit der lothrecht herabhängend
Stange v parallel laufen mufs. Man sieht bald, dafs das a
gelegte Gewicht P sich zu der gewogenen Last verhalten mu
wie verkehrt die Producte der Längen der Hebelarme, a
$P:W = ll':LL'$. Meistens wird die Einrichtung so getroff
dafs $l = l' = 1$ und $L = L' = 10$ ist, wodurch $P = \frac{1}{100} W$ wi
Weil aber hierbei das eigene Gewicht der Waagebalken ni
berücksichtigt worden ist, so werden diese durch die Gewich
der beiden Waagschalen und, wenn dieses nicht zureicht, du
Gegengewichte so balancirt, dafs die unbelastete Waage sich
Gleichgewichte einstellt.

Auf der Verbindung mehrerer Hebel beruht auch die Co
struction der *Strafsen-* oder *Mauthwaagen*, die auch *Wäg
brücken* genannt werden und in England dazu dienen, d
Weggeld nach dem Verhältnifs der Breite der Radfelgen (Ra
schienen) zur Belastung zu erheben, in Frankreich aber bl

tnifs zu controliren. Eine ausführliche vürde hier zu viel Raum erfordern und enden Künstler interessiren, weswegen Untersuchung ihrer Construction von und nur im Allgemeinen bemerke, dafs ücke) sich vor den Mauthhäusern zu lich breit und lang für die zu wägen- uemlichkeit wegen im gleichen Niveau t auf den kürzeren Armen von Hebeln, der durch die kürzern anderer Hebel zt eine im Zimmer des Mauthbeamten das reducirte Gewicht der gewogenen absolute Gewicht der gewogenen Last hervorgeht.

rbesserung haben in der neuern Zeit r Lasten bestimmten Waagen durch z und seine Nachfolger Rolle und g erhalten[2]. Man übersieht die Con- nnreich als einfach gebauten Apparate, Namen *tragbare Brückenwaagen* oder *ascule*) sehr allgemein bekannt sind, e dabei angewandten zusammengesetz- Linien darstellt[3]. Es sey zu diesem ler die Waagschale, worauf die Last Fig.
s eigene Gewicht dieser Brücke mit 22.
eilen heifse Q, habe seinen Schwer- t dem Ende n auf dem Puncte c des mit dem Waagebalken fk durch die st, das andere Ende b aber hänge an eben diesem Hebelarme, dessen sich befindet, so wie der des untern hiernach aufgelegte, auf bn ruhende n einen Druck $= W\frac{ba}{bn}$ und gegen b

nik. Th. I. S. 205 bis 210.
sches Journ. Th. XIV. S. 1. Auf diese zu London im Jahre 1825 ein Patent er- f arts and sciences T. XIV. N. 87. Wie- 839.
ch der Mechanik. Th. I. S. 211.

einen Druck $= W\frac{an}{bn}$, zusammen also $= W\frac{ba}{bn} + W\frac{an}{bn} = W$ a
das in seinem Schwerpuncte m angenommene eigene Gewi
der Brücke $= Q$ drückt aber auf den Punct n mit einer L
$= Q\frac{bm}{bn}$, gegen den Punct b mit einer Last $= Q\frac{mn}{bn}$, z
sammen $= Q\frac{bm}{bn} + Q\frac{mn}{bn} = Q$. Die auf den Punct b wi
kende Last ist daher $= W\frac{an}{bn} + Q\frac{mn}{bn}$ .... I.

Die auf den Punct n wirkende Last ist $= W\frac{ba}{bn} + Q\frac{b}{b}$
Letztere muſs also, auf den Punct c wirkend, den Hebel hi m
einer Kraft niederdrücken, welche die Stange hk mit einer L

$$= \left(W\frac{ba}{bn} + Q\frac{bm}{bn}\right)\frac{ci}{hi} \;\ldots.\; \text{II.}$$

niederzieht. Auf den Hebel fok wirken also in den Puncten
und k diese beiden angegebenen Gewichte, im Puncte f al
nach entgegengesetzter Richtung das Gewicht der Waagsch
mit Ketten $= P$ und das auf ihr liegende Gewicht $= p$, u
damit beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, m
seyn

$$(P+p)\,fo = \left(W\frac{an}{bn} + Q\frac{mn}{bn}\right)oe + \left(W\frac{ba}{bn} + Q\frac{bm}{bn}\right)\frac{ci}{hi}.o$$

Da die Verhältnisse der Längen der Hebelarme willkürli
sind, so werden sie am einfachsten einander gleich geset
also $oe = \frac{ci}{hi}.ok$, und es lassen sich dann beide Glieder d
letzten Theils der Gleichung addiren. Dieses giebt

$$(P+p)\,fo = \left(W\frac{an}{bn} + Q\frac{mn}{bn} + W\frac{ba}{bn} + Q\frac{bm}{bn}\right)oe;$$

$$(P+p)\,fo = \left(W\frac{(an+ba)}{bn} + Q\frac{(mn+bm)}{bn}\right)oe;$$

$$(P+p)\,fo = \left(W\frac{bn}{bn} + Q\frac{bn}{bn}\right)oe;$$

$$(P+p)\,fo = (W+Q)\,oe \;\ldots.\; \text{III.}$$

Da in dieser Gleichung die Gröſsen ba und bm nicht me
vorkommen, so folgt hieraus, daſs es gleichgültig sey, auf wel

m Puncte der Wägebrücke die Last liege; indefs findet es nur dann statt, wenn $oe = \frac{ci}{hi} . ok$ ist, oder wenn k=ci:hi. Hieraus folgt die Regel, dafs ok so oft in oe ten seyn mufs, als hi in ci. Es mufs dann das Gewicht aagschale (P) mit dem Gewichte der Wägebrücke voll- n ausgeglichen seyn, und ist dann $p = 0$, so mufs auch seyn, und man erhält aus der Gleichung (III)

$$P.fo = Q.oe \quad .... \quad IV.$$

letzte Gleichung von der vorletzten abgezogen, so

$$p.fo = W.oe,$$

$$p:W = oe:fo.$$

sich also der kürzere Hebelarm oe zum längeren fo, vicht, welches auf die kleinere Waagschale gelegt Gewichte der auf der Waagebrücke gewogenen Last; die Bedingung statt finden mufs, dafs die unbe- in ihren verschiedenen Theilen sich im Gleich- det. Bei den meisten Wägebrücken, ja man darf i allen, da sie jetzt in der Regel nach empiri- t verfertigt werden, findet das Verhältnifs von welches zugleich bequem und für das Bedürf- zureichend ist. Wollte man für gröfsere La- nifs 1 zu 100 wählen, so würde der Hebel- ausfallen, doch liefse sich auch diesem leicht man den Punct f des längeren Hebelarmes auf s zweiten Hebels wirken liefse, welcher zu bermals das Verhältnifs von 1 zu 10 haben diese Verbindung beider das von 1 zu 100 Einen wesentlichen Vortheil der Bequem- diese Waagen durch die Einrichtung, dafs es Hebelwerkes unter den Wägebrücken liegt, fsmäfsig nur wenig Raum einnehmen, au- en sie in eine Vertiefung des Fufsbodens n kann daher die zu wägenden Lasten auf lzen. Uebrigens versteht sich von selbst, Messerschneiden ebenso auf harten Unterla- Reibung möglichst zu vermindern, als die- waagen und Schnellwaagen der Fall ist.

c) Zeigerwaagen.

Eine Classe von Waagen, die sich durch ihre grofse I quemlichkeit sehr auszeichnen und bis zu einem sehr hol Grade von Feinheit bringen lassen, sind die Zeigerwaa; (Balance à cadran; *Bent lever balance*). Für den phy kalischen Gebrauch eignen sie sich nach Baumgartner[1] i besondere für diejenigen Fälle, wenn man das mit der Zeit s ändernde Gewicht der Körper kennen will, welches sie d selbst unter der Bedingung angeben, dafs sie unzugänglich si wie z. B. unter der Campane einer Luftpumpe u. s. w. I Princip, worauf ihre Construction beruht, ist ganz einfach f

Fig. 23. gendes. ACB ist ein Winkelhebel, dessen horizontale Axe, C unterstützt und mit einer Messerschneide auf einer hai Unterlage ruhend, ohne merkliche Reibung drehbar ist. physischer Hebel betrachtet habe er seinen Schwerpunct in seine Spitze beschreibe einen Kreisbogen ED, und der e Arm sey so eingerichtet, dafs auf das Ende B desselben e vertical herabziehende Last wirkt. So lange diese Last ni vorhanden ist, wird der Schwerpunct G in die Verticale herabsinken und in F zur Ruhe kommen, wirkt aber au eine vertical herabziehende Kraft (ein in die an B hänge Waagschale gelegtes Gewicht), so bildet der andere Hebel mit der Verticalen einen Winkel ACE, dessen Gröfse den Theilen des getheilten Bogens ED bestimmt wird. seyen

$$ACB = \alpha,\ ACE = \varphi,\ BCE = \varphi',\ \text{mithin}\ \alpha = \varphi + \varphi'.$$

Heifsen ferner, nachdem die Horizontalen FB und GH ge gen sind, CG = A, CB = B, die an B hängende Last = das Gewicht des Waagebalkens = Q, so hat man für den Z stand des Gleichgewichts

$$Q\,.\,GH = P\,.\,BF$$

$$\text{oder}\ Q\,.\,B\ \text{Sin.}\,\varphi = P\,.\,A\ \text{Sin.}\,\varphi'$$

$$\text{oder}\ Q\,.\,B\ \text{Sin.}\,\varphi = P\,.\,A\,(\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Cos.}\,\varphi - \text{Cos.}\,\alpha\ \text{Sin.}\,\varphi);$$

also

$$\text{Tang.}\,\varphi = \frac{P\,.\,A\,.\,\text{Sin.}\,\alpha}{Q\,.\,B + P\,.\,A\ \text{Cos.}\,\alpha}.$$

Aus dieser Formel folgt, dafs für P = 0 die Spitze A des Z

1 Supplementband. S. 55.

gen in die verticale Linie nach E herabsinken würde; allein
a auch bei der unbelasteten Waage der andere Hebelarm selbst
higes Gewicht hat, aufserdem aber die Waagschale an dem-
ben hangen mufs, so kann P nie = 0 werden und der He-
larm mit der auf die Abtheilungen des Gradbogens zeigenden
pitze mufs daher etwas gebogen seyn, wenn die Theilung un-
n in E mit 0 anfangen soll. Ferner wachsen die Tangenten
cht der Gröfse von P direct proportional, und die Abthei-
ngen des Gradbogens können also einander nicht gleich
n; man mufs daher einige derselben nach der Formel oder
pirisch auftragen und die zwischenliegenden interpoliren,
raus jedoch folgt, dafs solche Waagen nicht wohl so genau
n können, als die Krämerwaagen. Nach BAUMGARTNER
WERNER in Wien eine solche Waage verfertigt, deren
struction aus der Zeichnung genügend erkannt wird, mit Fig. 24.
n getheilten Bogen von 12 Zoll Halbmesser, die das Ge-
t der Körper von 22 Grammen bis 1 Milligramm angiebt.

Die Zeigerwaagen haben vor den bisher genannten Arten von
gen den Vorzug, dafs sie das Gewicht der Körper unmittelbar
bar angeben, und da sie zugleich sehr empfindlich seyn
en, so bedient man sich derselben zum Wägen der Garn-
ne, um deren gleich feine zum Weben der nämlichen Stü-
Zeug zu wählen. V. GERSTNER[1] beschreibt die gewöhn-
en Arten derselben, von denen ich die folgenden zwei,
mit verticaler und eine andere mit horizontaler Scale, hier
ame[2]. Die gebräuchlichsten sind die mit verticaler Scale
beruhn auf folgenden Gesetzen. Es sey der gebrochene Fig. 25.
rm acb in c unterstützt und in a mit einem Gewichte P
vert. Da die physischen Hebelarme ein eigenes Gewicht
, welches Q heifsen möge, so nehmen wir an, dafs die
stete Waage in der Lage acb zur Ruhe komme. Dabei

---

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 194. Vergl. ARZBERGER in
VI. 392, wo eine vollständige Theorie der Zeigerwaage gege-
rden ist.

2 Eine solche Zeigerwaage ist auch diejenige, welche SCHLUM-
unter dem Namen einer Schnellwaage oder römischen Waage
rt hat. S. Dingler's polytechnisches Journal Th. XXXVI. S.
Bullet. de la Soc. industr. de Mülhausen. N. II. Die minder
chaftliche Art der Eintheilung des Quadranten kommt auf das
was oben nach BAUMGARTNER angegeben worden ist.

mufs der gemeinschaftliche Schwerpunct der Gewichte P + Q i irgend einem Puncte der von c herabgehenden Verticale liege wir nehmen an in m. Wird dann in i irgend ein Gewic = W aufgehangen, so zieht dieses den Waagebalken von nach d herab, die Waage kommt in der Lage l c d zum Stil stande und der Waagebalken bildet in seiner zweiten Lage n der ersten einen Winkel b c d = φ, welcher dem Winkel l c gleich ist, während der gemeinschaftliche Schwerpunct der Ge wichte P + Q von m nach n gehoben wird und mit der frü hern Lage einen Winkel n c m = φ bildet. Da die statische Momente einander gleich sind, so ist

$$(P + Q)\, no = W.ch \;\ldots\; \text{I.}$$

Wegen der Gleichheit der Winkel sind auch die Dreiecke k und n c o, so wie auch k f e und c g h einander ähnlich. M hat also

$$no : nc = ke : kc$$
$$cg : ch = kf : ke$$

$$no.cg : nc.ch = kf : kc, \text{ woraus } no = \frac{kf.nc.ch}{kc.cg} \ldots$$

Der letztere Werth in (I) substituirt giebt

$$(P + Q)\,\frac{kf.nc.ch}{kc.cg} = W.ch.$$

Hieraus ergiebt sich der von der Zeigerspitze auf der vertic len Scale k r beschriebene Theil oder der Ausschlag

$$kf = \frac{W.kc.cg}{(P+Q)\,nc} \;\ldots\; \text{III.}$$

Für ein anderes an i gehangenes Gewicht = W' würde sich in kf' verwandeln, und die von der Zeigerspitze an der ver calen Scale bezeichneten Abtheilungen sind also den Gewicht direct proportional; auch ergiebt sich aus der Formel, dafs um so gröfser wird, dafs also der Zeiger auf desto gröfs Räume weiter rückt, also die Waage so viel empfindlic wird, je länger der andere Hebelarm c k und je weiter Aufhängepunct der Last g vom Drehpuncte c entfernt i

Die Construction der Waage kann auch so eingerichtet werd

Fig. 26. dafs das balancirende Gegengewicht Q sich in n befindet u der Zeiger in r auf 0 zeigt, wenn das Ende g des andern H belarmes in g unbelastet ist, dann aber nach n' und der Ze ger nach k gehoben wird, wenn eine Last den Hebelarm

g' herabzieht. Will man der Bequemlichkeit wegen die Scale auf einen Kreisbogen auftragen, so darf man um so mehr, weil bei diesen Waagen nur geringe Unterschiede der Gewichte verlangt werden, mithin nur kleine Bogen erforderlich sind, nur die Linie st in gleiche Theile theilen und von den Theilungspuncten aus Linien nach c ziehen, deren Durchschnittspuncte mit dem Bogen auf diesem die Theile angeben.

Die zweite Classe dieser Waagen ist mit horizontaler Scale und ihre Berechnung der eben beschriebenen ganz ähnlich. Es befände sich also für die unbelastete Waage das Gewicht Q in h, der eine Arm in a, der andere in b; nach der Belastung mit W komme h nach i, a nach d und b nach e, so ist für das Gleichgewicht Fig. 27.

$$W.cg = Q.ck,$$

also wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke dgc und fbe, so wie auch cki und ceb

$$cg:cd = be:bf$$
$$ci:ck = bc:be$$

$$cg.ci:cd.ck = bc:bf, \text{ also } cg = \frac{cd.ck.bc}{ci.bf},$$

welches substituirt giebt

$$W.\frac{cd.ck.bc}{ci.bf} = Q.ck$$

und hieraus

$$bf = \frac{W.cd.bc}{Q.ci}.$$

Die Theile bf der Scale sind also den Gewichten direct proportional, und es gilt von dieser Waage dasselbe, was so eben über die mit verticaler Scale gesagt worden ist, wie nicht minder die allgemeine Regel, dafs auch bei dieser Art von Waagen die Reibung so viel als möglich vermindert seyn mufs. Eine gewöhnliche Art der Construction dieser Waagen ist aus der Zeichnung ersichtlich, die keiner weiteren Erläuterung bedarf. Fig. 28.

d) Federwaagen.

Eine jede Feder widersteht einer sie aus ihrer Lage bringenden, also sie auf- oder abwickelnden, sie beugenden, sie zusammendrückenden oder ausdehnenden Last mit einer stets

wachsenden Kraft, und wenn man diese in Gewichtstheil ausdrückt, so erhält man die verschiedenen Arten von Fede waagen, die zwar sehr bequem sind, grofse Genauigkeit ab nicht gewähren können, weil überall die wachsende Elasticit der Federn der auf sie wirkenden Last nach keinem bestimm ten Gesetze proportional zunimmt und an sich einer Modific tion durch den Einflufs der Temperatur unterliegt. Federwa gen pflegen daher nur da gebraucht zu werden, wo es a grofse Genauigkeit nicht ankommt, z. B. beim Abwägen d Pferderationen an Heu, Hafer u. s. w., wobei sie wegen ihr Kleinheit als sehr bequeme Apparate dienen. Eine theoretisc Bestimmung der von ihnen anzugebenden Gewichte ist u möglich, sie müssen also empirisch getheilt werden, und genügt daher, die gangbarsten derselben nur im Allgemeinen : beschreiben. Eine sehr gemeine Art besteht aus einem hohle etwa 4 bis 6 Zoll langen und ungefähr 1 Zoll im Durchmess haltenden Cylinder, oben mit einem Ringe, um sie an e nem Finger zu halten, unten mit einem Haken, woran die : wägende Last gehangen wird. Im Cylinder ist eine schrau benförmig gewundene Feder angebracht, welche durch die La zusammengedrückt wird. Durch diese Feder ist eine vierkän tige Stange gesteckt, welche sich bei der Zusammendrückun derselben entweder oben oder unten durch den Deckel des Cy linders ziehen läfst, je nachdem die Feder sich gegen den obe oder untern Boden des Cylinders steift, und auf der flache Seite dieser Stange sind dann diejenigen Gewichte, meiste nur bis zu Viertelpfunden, bezeichnet, die der erzeugten Zu sammendrückung der Feder zugehören, so dafs man das Gewic der gehobenen Last unmittelbar ablieset. (Fig. 29.)

Nach einer zweiten, gleichfalls sehr gewöhnlichen, Con struction bestehen die zu gleichen Zwecken dienenden Fede waagen aus einem stählernen Bügel, welcher oben mit eine Oehre versehen ist, durch welchen der zum Halten dienen Ring geht, unten aber mit einem zweiten d, in welchem d zum Anhängen der Lasten bestimmte Haken h hängt. D eine Ende des stählernen Bügels hält in einem Scharniere das Ende eines Zeigers, welcher durch eine Oeffnung b i andern Ende des Bügels gesteckt ist, und dessen Spitze c bei Auseinanderziehen des Bügels auf einem getheilten Bogen die jenigen Gewichte angiebt, welche an den Haken h gehangen d (Fig. 30.)

stärkere Ausdehnung des Bügels bewirken. Diese Scale befindet sich auf einer messingnen Platte on von geeigneter Form, welche in e am Bügel befestigt ist. Man hat auch zum Garn- Fig. wiegen dienende Federwaagen, die aus einer am oberen Ende 31. etliche Male umgewundenen und in einen hölzernen Cylinder ef eingelassenen Feder bestehen, wobei ein in den Cylinder gesteckter Draht ss' dazu dient, die zu wägenden Strähne vermittelst eines Hakens daran zu hängen. Zu den Federwaagen pflegt man auch die *Dynamometer* zu rechnen, von denen bereits geredet worden ist[1]; es verdient aber hier noch bemerkt zu werden, dafs unter Andern namentlich Egen[2] dieses Werkzeug, dessen er sich bei seinen lehrreichen Untersuchungen über die Kraft der Mühlräder bediente, *Federwaage* nennt, dagegen einen andern Apparat durch Dynamometer bezeichnet, welcher bei seinen Messungen gleichfalls gebraucht wurde. Letzterer besteht s einem starken eisernen flachen Ringe, welcher um die ühlenwellen gelegt, und um für diese von verschiedener Dicke passen, mittelst Schrauben, deren untere Spitzen sich hinglich tief in die hölzerne Welle eindrücken, unbeweglich estigt wird. Um diesen Ring, welcher aufsen flach und mit stehenden Rändern versehen ist, um das Abgleiten zu veren, wird ein anderer Ring als Band gelegt und mittelst rauben fest angezogen, damit beide sich auf einander so stark en, als der jedesmalige Versuch erfordert. Während also innere Ring sich mit der Mühlenwelle umdrehet, wobei äufsere Ring so stark angezogen wird, dafs jener nach elösetem Getriebe die nämliche Umdrehungsgeschwindigkeit lt, als wenn das zugehörige Werk im Gange ist, so verdet die Mühlenwelle ihre ganze Kraft auf die Ueberwing der Reibung beider Ringe auf einander, die zur Verhütung Erhitzens stets mit Wasser benetzt werden. Am äufseren ge befindet sich ein starkes Oehr; durch dieses steckt man en Balken, um den Ring festzuhalten, und an das andere de dieses Balkens oder dieser Stange bringt man die Federage (das Dynamometer) an, welche die von der Stange geenen Gewichte und also, mit Rücksicht auf die ungleiche

---

1 S. Art. *Dynamometer*. Bd. II. S. 715.

2 Untersuchungen über den Effect der Wasserwerke u. s. w. l. *1831*. 4.

Länge der Hebelarme, die Kraft der Mühlenwelle in Pfund angiebt. Egen tadelt die in diesem Werke angegebene Construction der Dynamometer (Federwaagen) deswegen, weil der stählerne Bügel durchbrochen ist, um die Handhaben und das Zeigerwerk anzubringen, und er läfst diese daher durch übergreifende Klammern befestigen, inzwischen ist die Schwächung des Bügels durch die Löcher nicht merklich, weil die eingebrachten Zapfen sie vollständig ausfüllen, auch habe ich bei gut ausgeführten Dynamometern nie eine Abweichung vom richtigen Gange bemerkt, selbst wenn sie mit Lasten bis zu 1000 Kilogrammen beschwert wurden. V. Gerstner[1] hat eine eigenthümliche, gleichfalls sehr zweckmäfsige, Construction der Dynamometer (*Kraftmesser*) angegeben; mir scheint aber die von mir in Vorschlag gebrachte, neuerdings noch etwas verbesserte, deswegen den Vorzug zu verdienen, weil der Zeiger, sowohl wenn er nach einer Seite hin sich bewegend kleinere Gewichte angiebt, als auch nach der anderen gröfsere, jederzeit einen ganzen Kreis durchläuft, wodurch die Messung leichter und genauer wird.

Zu den Federwaagen kann auch diejenige gezählt werden, welche Ritchie[2] auf das Princip gegründet hat, dafs lange und dünne Glasfäden eine den drehenden Kräften ins Unbestimmte proportionale Elasticität besitzen, denn er drehete einen solchen Glasfaden von 10 Fufs Länge wenigstens um 500 Grade, bis er ein einziges Grän zu heben vermochte. Die hiernach construirte Waage besteht aus einem sehr feinen Waagebalken ab, bei welchem vor allen Dingen nur seine Leichtig-
Fig. 82. keit in Betrachtung kommt, doch soll er, nach der Angabe des Erfinders, zugleich die erforderliche Mensur haben, um in beiden Schalen zu wägen. Der Waagebalken ist über einer perpendiculär auf seine Längenaxe gerichteten feinen Messerschneide kk befestigt, und hat am einen Ende eine Spitze, welche an einer Scale seinen horizontalen Stand angiebt; die Messerschneide ruhet auf zwei kleinen Glasstäbchen c und c, welche auf den beiden Armen einer verticalen Stütze befestigt sind. An dem einen Ende k in der Verlängerung der Schneide ist e

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 216.

2 Philos. Trans. 1830. p. 215. Schweigger's Journ. Th. LXI. 335. Fechner's Repertorium Th. I. S. 7. Wiener Zeitschrift. Th. I S. 214.

aus mehreren Fädchen ungezwirnter Seide verfertigter Faden angebunden, dessen anderes Ende an die Spirale s aus dünnem Messingdraht geknüpft wird, am andern Ende der Schneide ist ein Glasfaden von einer der Bestimmung angemessenen Dicke und Länge befestigt, dessen anderes Ende durch etwas Siegellack in einem kleinen hölzernen Cylinder feststeckt, welcher im Centrum der Scheibe d mittelst eines Knöpfchens e um seine Längenaxe gedrehet werden kann. Die Scheibe hat am Rande eine Theilung, und auf dem Ende des hölzernen Cylinders steckt ein Zeiger, welcher angiebt, um wie viele Grade der Glasfaden gedrehet wird. Die Methoden, welche Ritchie angiebt, um vermittelst dieser Waage zu wiegen, scheinen mir weit künstlicher, als dieses nöthig ist, und ich glaube vielmehr, dafs man sehr bequem auf folgende Weise verfahren könne, da eine solche Waage doch nur zum Wägen kleiner Lasten bestimmt seyn kann, und als erwiesen vorausgesetzt wird, dafs die Elasticität des Glasfadens den ihn drehenden Lasten proportional ist, mithin die Grade seiner Drehung die diesen proportionalen Gewichttheilchen angeben. Diesem gemäfs wird der mit der Theilung versehene Ring so eingerichtet, dafs er sich um die geometrische Axe des Glasfadens drehen und danach so stellen läfst, dafs der Zeiger beim Zustande des Gleichgewichts der unbelasteten Waage auf 0 zeigt. Wird dann die eine Waagschale mit einer geringen Last beschwert, so sinkt sie herab, man drehet dann den kleinen Cylinder an seinem Knopfe und somit zugleich den in ihm steckenden Glasfaden und den Zeiger nach der entgegengesetzten Seite so lange, bis die Waage wieder zum Gleichgewichte gekommen ist, und erhält aus dem von der Zeigerspitze durchlaufenen Bogen die Gröfse des Gewichtes. Betrügen z. B. für ein Centigramm die durchlaufenen Grade 500, so kämen auf ein Milligramm 50, und eine bewirkte Drehung von 20 Graden würde ein Gewicht von $\frac{20}{50}$ oder $\frac{2}{5}$ Milligramm anzeigen. Bei dem Abwägen von gröfseren Lasten könnten die Drehungen blofs zur Auffindung der kleinen Gewichttheilchen benutzt werden. Wäre z. B. ein Körper vermittelst Gewichtstücken bis so weit abgewogen, dafs nach Zulegen eines Milligramms die Gewichtstücke das Uebergewicht hätten, nach der Wegnahme desselben aber der gewogene Körper herabsänke, der Unterschied also nur einen gewissen Theil eines Milligramms betrüge, so müfste das Gleich-

gewicht durch Drehung des Fadens hergestellt werden, und vom Zeiger durchlaufenen Grade gäben dann die Bruchth des Milligrammes an. Würde z. B. nach der obigen Besti mung eine Drehung von 10 Graden erfordert, um das du Wegnahme des Milligramms aufgehobene Gleichgewicht wie herzustellen, so würde dieses anzeigen, dafs der gewog Körper n + $\frac{10}{30}$ oder n + $\frac{1}{3}$ Milligramm wöge. Ritchie gi sachgemäfs an, dafs man Glasfäden von verschiedener Stä in Anwendung bringen könne, auch ist es zweckmäfsig, die Wa zur Vermeidung des Luftzuges in einen Kasten zu setz aus welchem der oft lange Glasfaden herausstehn kann.

Endlich läfst sich in gewisser Beziehung an die Fede waagen noch diejenige anreihen, welche, vielleicht mehr zu d Krämerwaagen gehörig, nach einer eigenthümlichen Constructi von W. Weber in Vorschlag gebracht und mir durch Ansicht einiger bereits verfertigter Exemplare bekannt geword ist[1]. Der Waagebalken besteht aus einem länglich vierkantig Rahmen, dessen beide längere Seiten in ihrer Mitte durch ein Querbalken verbunden sind; letzterer aber hängt an zwei Uh federn bei gleichem Gewichte seiner beiden Hälften und d von der Mitte der kürzern Seiten herabhängenden Schalen ho rizontal, welcher Stand durch einen Zeiger an einem getheilt Bogenstücke angezeigt wird. Eine in die eine Waagschale ge legte Last drückt diese hinab, bis durch das in die ande gelegte Gegengewicht der horizontale Stand wieder herbeige führt wird, und das Wägen mit ihr geschieht daher auf die selbe Weise als bei der Krämerwaage. Zur allgemeinen Kenn nifs der Sache wird diese kurze Andeutung hier genügen.

e) Senkwaagen.

Das hydrostatische Gesetz, nach welchem jeder in ei Flüssigkeit eingetauchte Körper so viel Widerstand findet, a das Volumen der durch ihn verdrängten Flüssigkeit beträ verbunden mit der Erfahrung der höchst geringen, hierbei st findenden Reibung, hat sicher häufig die Idee hervorgerufe hierauf die Construction von Waagen zu gründen; als wirkli ausgeführt sind mir jedoch nur wenige Vorschläge bekan

1 Vergl. Göttingische gel. Anz. 1837. S. 218.

geworden, die ich hier kurz angebe, weil eine nähere Prüfung die nicht genügende Zweckmäſsigkeit derselben darthun wird. Nach Champion[1] soll in ein hohles cylindrisches Gefäſs ein anderer Cylinder gesenkt werden, so daſs zwischen beiden nur ein Spielraum von 1 bis höchstens 2 Linien bleibt. Wird dann in das Gefäſs die erforderliche, nicht eben groſse Menge Quecksilber gegossen, so treibt dieses, indem es selbst in dem Zwischenraume in die Höhe steigt, den innern Cylinder mit einer Kraft empor, welche dem Gewichte einer Quecksilbersäule von der Basis dieses Cylinders und der Höhe, bis zu welcher es emporgetrieben wird, gleich ist. Es läſst sich dann leicht eine Vorrichtung herstellen, z. B. ein Kreuz mit überstehenden Enden auf der obern Fläche des eingesenkten Cylinders befestigt, von welchen vier Seile herabhängen, die eine Waagschale halten, damit die zu wägenden Lasten den Cylinder in der Flüssigkeit niederdrücken. Ein angebrachter Zeiger dreht sich bei diesem Einsenken vor einer getheilten Scale, und zeigt auf dieser nach vorher gemachter empirischer Bestimmung die zum ferneren Herabdrücken erforderlichen Gewichte, so daſs man bei nachherigen Wägungen bloſs die Scalentheile, die der Zeiger angiebt, abzulesen hat, um die Gewichte der gewogenen Lasten zu bestimmen. Weit mehr zusammengesetzt ist eine andere sogenannte hydraulische Waage, worauf Medhurst ein Patent
lten hat[2]. Diese besteht der Hauptsache nach aus einem
drischen, mit Wasser gefüllten Gefäſse, in welches ein
res, oben luftdicht verschlossenes, unten offenes, so ein-
t, daſs beim tiefern Hinabsinken die Luft in ihm verdich-
wird. Das Wasser im ersten Gefäſse steht mit dem in
andern Cylindern in Verbindung, in welches zwei mas-
Cylinder eintauchen, deren Gröſse zu der des hohlen Cy-
rs in einem solchen Verhältnisse genommen wird, daſs der
serstand in allen drei Behältern stets gleich bleibt, weil in
hohle Gefäſs durch Compression der darin befindlichen
so viel Wasser eindringt, als die beiden herabgedrückten
nder verdrängen. Aus hydrostatischen Gesetzen ergiebt
dann von selbst, daſs die drei Cylinder den sie tiefer

1 Aus Annales des Arts et Manufactures und Journal für Fabriken 1805. S. 300. in G. XXX. 389.

2 Aus Repertory of Inventions in Dingler's polytechnischem
. Th. XXV. S. 218.

hinabdrückenden Lasten einen zunehmenden Widerstand e[...] gegensetzen, so dafs die Gewichte der aufgelegten Körper der Tiefe des Einsinkens erkannt werden; die geeigneten V[...] richtungen aber, um mittelst eines solchen Apparates zu wäg[...] lassen sich leicht auffinden.

Die erste dieser beiden Waagen unterliegt dem gro[...] Uebelstande, dafs das Quecksilber die eisernen Cylinder s[...] bald zum starken Rosten bringt, sie dadurch verdirbt, se[...] aber in einem hohen Grade verunreinigt wird und sich d[...] an die Wandungen hängt, wodurch die Waage sehr unrich[...] werden mufs. Dieser Mangel ist so bedeutend, dafs ich hi[...] nach die ganze Idee für praktisch unausführbar halte, wenn nicht möglich ist, hölzerne, mit Firnifs überzogene, zugle[...] aber gegen das Reifsen und Schwinden gesicherte, Cylinder verwenden. Beide Apparate unterliegen dem Mangel, dafs [...] Flüssigkeiten sich durch Wärme stark ausdehnen, wodurch [...] Wägungen unrichtig werden; aufserdem aber sind feine W[...] gungen damit unmöglich, weil diese sehr dünne eintauchen[...] Cylinder erfordern, die dann für zunehmende Gewichte zu la[...] seyn müfsten, dicke und kurze eintauchende Cylinder verdrä[...] gen aber eine zu grofse Masse von Flüssigkeit, als dafs e[...] nur annähernde Feinheit der Wägung damit möglich se[...] sollte. Hiernach bleibt die für einen einzigen Zweck, nämli[...] die Auffindung des specifischen Gewichts der Flüssigkeite[...] bestimmte Senkwaage von Tralles[1] allein brauchbar; alle a[...] dere Vorschläge sind aber zu verwerfen, und es wird schwe[...] lich überhaupt erreichbar seyn, auf eine andere Weise, als di[...] letztere, zu einer den Forderungen genügenden Waage zu gelang[...]

Ungleich leichter, ja überhaupt ohne Schwierigkeit au[...] führbar ist dagegen eine in der That sogar zweckmäfsige Waa[...]

---

1 S. Art. *Aräometer*. Bd. I. S. 338. Solcher Waagen hat [...] auch Hassler bei der Regulirung der nordamericanischen Mafse u[...] Gewichte bedient und bei gröfseren Lasten den Schwimmer auch [...] Quecksilber gesenkt. Da ihre Feinheit der Gröfse des eingetaucht[...] Körpers und der Dünnheit seines Stieles proportional ist, so gestat[...] sie einen sehr hohen Grad der Genauigkeit und durch das erwähn[...] Princip der *doppelten Wägung* (indem man den zu wägenden Kör[...] auf die Waagschale legt und ihn dann mit Gewichtstücken vertausc[...] allgemeine Anwendung; aufserdem aber sind sie sehr wohlfeil, hab[...] nur eine verschwindend geringe Reibung, und vereinigen somit mehre[...] nicht geringe Vorzüge.

welche auf das Princip des gleich hohen Standes der Flüssigkeiten in communicirenden Röhren gegründet, durch v. HORNER[1] angegeben, geprüft und brauchbar gefunden wurde. Sie besteht aus einem Cylinder A, welcher oben etwas ausgehöhlt und mit einem Stücke starken Bocksleders von einem Beutel, worin das Quecksilber versandt zu werden pflegt, bauchig überbunden ist. In den Cylinder war die doppelt rechtwinkelig umgebogene, ungefähr zwei Linien weite[2] Glasröhre D′D′ eingekittet, durch welche der lederne Sack mit Quecksilber gefüllt wurde. Aus der Zeichnung ergiebt sich dann von selbst das Fußbret N, auf welchem der Cylinder ruht, die aufstehende Leiste, um das verticale Ende der Glasröhre und eine geeignete Scale daran zu befestigen, ferner die Leisten s r und das Bret B, auf welches die zu wägenden Lasten gelegt werden. Diese drücken gegen das Quecksilber in dem aufgetriebenen Beutel und machen es in der Röhre aufsteigen, wobei aus der Höhe und dem Durchmesser des Cylinders das aufgelegte Gewicht bemerkbar wird. Bei dem beschriebenen Exemplare hielt der Cylinder ungefähr 1,5 Zoll im Durchmesser und das Quecksilber stieg dann durch 1 Pfund Gewicht um einen Zoll. Der Einfluſs der Wärme auf das Quecksilber ist unbedeutend, größer aber dürfte der der Feuchtigkeit auf das Leder seyn, doch lieſse sich diesem zum Theil begegnen, wenn man die Scale verschiebbar machte, damit das Quecksilber in der Röhre bei unbelasteter Waage stets auf 0 einstände. Der eigentliche Vortheil liegt indeſs wohl minder in der Feinheit und Genauigkeit, als in der Bequemlichkeit und Einfachheit dieser Vorrichtung; auch scheint es mir eine nicht unwesentliche Verbesserung zu seyn, wenn man statt des Leders, welches das Quecksilber bei starkem Drucke leicht durchläſst, Federharz zum Ueberbinden des Cylinders wählte. Fig. 33.

) Waagen von eigenthümlicher Construction.

Verschiedene Apparate, die gleichfalls Waagen genannt werden, sind bereits beschrieben worden, z. B. die *Aräometer* und die

1 G. LXVIII. 102.

2 Besser würde es seyn, sie nur eine oder höchstens 1,5 Lin. weit zu nehmen.

hydrostatischen Waagen[1], wie nicht minder die *Drehwaa*[2] von COULOMB nebst ihren verschiedenen Modificationen; bleibt uns daher nur noch übrig, die Waagen von eigenthü- licher Construction, bei denen die bisher erörterten Prin- nicht in Anwendung kommen, kurz anzugeben. Es ist indefs nur eine bekannt geworden, die Erwähnung verdi- nämlich die durch HUBER[3] vorgeschlagene und von ihm B- lance tangentigrade genannte. Denken wir uns ein

Fig. 34. stell abde und an diesem einen Faden von möglichst gering- Gewichte in f befestigt, dann über eine Rolle r gezogen, wird dieser zwischen dem Anfangspuncte f und der Roll- durch ein beliebiges Gewicht P in eine gerade Linie gespa- jedes in p angehängte Gewicht mufs ihn aber herabziehen, zwar zu einer der Gröfse des letzteren proportionalen Ti- so dafs man aus der Tiefe des Fadens die ihn herabziehe- Last ermessen kann, wozu die angebrachte Scale dient, deren Theil der Punct c des Fadens hinweiset. Alle sonst- Mängel einer solchen Waage nicht gerechnet giebt schon Reibung der Rolle, wenn auch möglichst vermindert, ein b- deutendes Hindernifs ab.

Weit zweckmäfsiger ist dagegen die Construction ei- ähnlichen, von W. WEBER[4] in Vorschlag gebrachten u- *Kettenwaage* genannten Apparates. Wird nämlich ein bieg- mer Faden mit seinen zwei Enden an festen Puncten befesti- so bildet der herabhängende Theil die bekannte Kettenli- (*catenaria*). Werden aber in beliebigen Entfernungen v- jenen festen Puncten Fäden mit herabhängenden Gewicht- angeknüpft, so geht die Form der drei hierdurch gebildet- Theile der Kettenlinie in gerade Linien über, deren gegens- tige Lage durch das Verhältnifs der herabziehenden Gewic-

Fig. 35. bedingt wird. Sind demnach die beiden festen Puncte C u- C', die Gewichte P und P', ist ferner CA von gleicher Län- mit CB und liegen C und C' in einer horizontalen Ebene, wird auch AB für P = P' eine horizontale Lage erhalten u-

1 S. Art. *Araeometer*. Bd. I. S. 349. Vergl. *Gewicht*. Bd. S. 1516.

2 S. Art. *Drehwaage*. Bd. II. S. 591.

3 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Genève 18- T. 1. p. 93.

4 Gött. gel. Anzeigen. 1837. S. 211.

der Winkel A dem Winkel B gleich seyn; ein Unterschied der Gröſsen P und P′ muſs aber eine verhältniſsmäſsige Abweichung der Linie AB von der horizontalen Lage und eine Ungleichheit der Winkel A und B zur Folge haben, so daſs sich durch die letzteren Gröſsen die ersteren messen lassen. Die weitere Untersuchung ergiebt jedoch, daſs auf diesem Wege diejenige Feinheit nicht erreicht wird, welche den Krämerwaagen eigen ist, und wollte man nach dem Vorschlage des Erfinders noch einen dritten Radius anbringen und die dadurch vergröſserte Veränderung des Winkels in einem Spiegel vermittelst eines Fernrohrs ablesen, so dürfte der Apparat dadurch zu complicirt werden.

Gegen das Ende des vorletzten Jahrhunderts, während der ielen Versuche zur Begründung des Gesetzes des Hebels, achte ROBERVAL[1] einen Apparat bekannt, welcher nach ihm *aage des Roberval* (*Vectis Robervalli;* Balance de Roerval; *Roberval's Balance*) genannt worden ist. Die zu einem rallelogramm vereinigten vier Stäbe ABCD sind an ihren vier Fig. 36.
den vermittelst hölzerner Nägel so verbunden, daſs sie sich diese Zapfen leicht bewegen lassen, zugleich sind die beilangen zwischen den beiden Theilen der Säule GH um in ihrer Mitte E und F durchgesteckten Zapfen drehbar. i in P und Q unbeweglich befestigte Querstangen IM und dienen dazu, die beiden gleichen Gewichte K und L aufhmen, und die Waage ist stets im Gleichgewichte, an was einer Stelle der Querleisten diese Gewichte auch hängen en. Das anscheinend Paradoxe bei diesem Apparate liegt darin, daſs man den Unterstützungspunct der Hebelarme er Säule GH liegend annimmt und zugleich die Entferder Angriffspuncte beider Lasten in M und O als unh entfernt von den Unterstützungspuncten in E und F chtet, da vielmehr wegen der Unbeweglichkeit der Quergen die Angriffspuncte der Lasten, wo sie auch an den rstangen angebracht seyn mögen, stets in P und Q, also in cher Entfernung von den Unterstützungspuncten, liegen. diese Weise wurde dieses Problem sofort erklärt[2], BRIS-

---

1 Journal des Sçav. éd. Amst. 1670. LEUPOLD Theatrum staticuniversale p. 59. Tab. XVII. fig. 2 u. 3.

2 Mém. de l'Académie. T. X. p. 343.

son[1] aber zeigte ausführlich nach dem von Cartesius aufg stellten allgemeinen Gesetze des Hebels, daſs alle Theile Querbalken bei der Bewegung gleiche Räume durchlaufen, m hin sich als gleich lange Hebelarme verhalten, da die von u gleich langen Hebelarmen durchlaufenen Räume ihren Läng direct proportional sind. Später hat Hofmann[2] abermals Erklärung dieses Problems unternommen, was Langsdorff eine gröſsere Mühe erklärte, als die Sache verdiene, inzwisch hat auch Gregory[3] dasselbe einer speciellen Erörterung we erachtet, wobei er den Apparat zugleich für eine Erfindung v Desaguliers[4] ausgiebt.

M.

Wärme.

Wärmestoff, Feuer; *Calor;* Caloriqu Chaleur, Feu; *Heat.*

1) Wärme nennen wir die physische Ursache einer s chen Beschaffenheit der Körper, vermöge welcher sie in uns rem Körper eine gewisse Empfindung erzeugen, wonach *warm* heiſsen, oder thermoskopische Körper so afficiren, d wir auf ihre Anwesenheit daraus schlieſsen und zuweilen il Intensität danach bestimmen. Erreicht die Wärme einen hol Grad, so nennen wir sie *Hitze,* und betrachten sie als Ursache desjenigen Zustandes der Körper, nach welchem dieselben *heiſs* nennen. Ist sie in den Körpern in gerin Intensität vorhanden, so nennen wir dieselben *kalt*, und l zeichnen die physische Ursache dieses Zustandes durch Ausdruck *Kälte (Frigus;* Froid; *Coldness*). Eine weit Bestimmung sonstiger in dieser Beziehung üblicher Bezei nungen würde überflüssig seyn, da sie als hinreichend beka gelten können. Dagegen kommt eine andere Frage sehr Betrachtung, nämlich ob alle die Erscheinungen, die wir du

1 Dictionn. rais. de Phys. Art. Levier.

2 Roberval's Waage von Hofmann. 1816. 23 S. 4.

3 Darstellung der mechanischen Wissenschaften. Uebers. Dietlein. Halle 1824. 8. S. 90.

4 Philos. Trans. N. 419. New Abridgement. T. VI. p. 542.

die Ausdrücke Wärme, Hitze, Kälte u. s. w. bezeichnen, nur von einer und der nämlichen Ursache, der Wärme, herrühren, sofern diese vermehrt bis zu den höchsten Graden der Hitze zunehmen, dagegen vermindert bis zu den tiefsten Graden der Kälte abnehmen müſste, oder ob es eine gewisse Grenze, einen gewissen Nullpunct giebt, über welchem Wärme und unter welchem Kälte, beide einander entgegengesetzt und bei ihrer gehörigen Vereinigung sich zu Null ausgleichend, anzunehmen wären[1]. Allerdings pflegt man den Nullpunct der Thermometer als eine solche Grenze zu betrachten, und der Ausdruck: *Grade der Wärme* und *Grade der Kälte*, dessen sich Manche bedienen, selbst die mehr wissenschaftliche Bezeichnung von + Graden und — Graden der Thermometer deutet auf einen Uebergang der Wärme zur Kälte, oder mindestens auf ein Vorhandenseyn von Wärme und einen Uebergang vom gänzlichen Mangel derselben zu einer ihr entgegengesetzten Potenz; allein genauere Untersuchung der Sache zeigt bald, daſs es nur Wärme von verschiedener Intensität, und keine ihr entgegengesetzte und sie neutralisirende Kälte geben könne, wenngleich Sprachgebrauch, das Vorhandenseyn weniger Wärme durch Ausdruck Kalte zu bezeichnen, groſse Bequemlichkeit gewährt. Schon der gemeine Sprachgebrauch deutet darauf hin, keine zwei entgegengesetzte, durch eine eigentliche Grenze schiedene, Potenzen vorhanden sind, denn die Bestimmungen über sind nicht absolut, sondern relativ, sofern der Eine von redet, wo der Andere Wärme findet. Der Nullpunct der mometer aber ist eine durchaus willkürliche, für die stets mäſsig zu erhaltende Temperatur des schmelzenden Schnees nommene Bestimmung, die noch obendrein bei den verdenen Thermometerscalen ungleiche Werthe hat[2]. Endlich , und dieses Argument ist unwiderleglich, gewahren wir

1 Joh. Casp. Müller beweiset in einer eigenen Schrift: Dissert. de Frigore cet. Jen. 1698. 4., daſs es keine für sich bestehende gebe, sondern daſs alle Erscheinungen (deren Deutung übrigens selten sehr gezwungen ist) aus der ungleichen Menge des vorenen Wärmestoffes erklärt werden können. Aus der gesammten stellung kann man ersehen, daſs mit Ausnahme des gemeinen chgebrauches, worin unwissenschaftlich Wärme und Kälte untereden werden, die Physiker stets nur ein einziges Wesen, nämlich me, annahmen.

2 Vergl. Thermometer. S. 882.

stets dem Wesen nach gleiche Erscheinungen, welche als Wir kungen einer und derselben Potenz, die wir Wärme nenne jedoch von sehr ungleicher Intensität, zu betrachten sind. Durc Vermehrung der Wärme schmilzt auf gleiche Weise das er starrte Quecksilber, als das feste Eisen, heifses Kupfer giel dem starren Blei Wärme ab und macht es flüssig, gerade a die nämliche Weise, als wie das letztere Metall Eis zur Flüs sigkeit bringt und Eis von seiner Wärme an das erstarrte Queck silber abgiebt, um dieses in den Zustand der Flüssigkeit z versetzen. Hierin und in allen andern uns bekannten Phäno menen ist es also stets eine und die nämliche Potenz, welcl sich uns als wirksam zeigt, ihre Wirkungen sind einander ste gleich, bis zu wie tiefen Graden der blofs unwissenschaftli so genannten Kälte wir auch herabgehen mögen, und es i nicht blofs kein Grund vorhanden, welcher uns anzunehm berechtigte, dafs es bei noch gröfserer, aufser dem Bereicl unserer Erfahrung liegender, Verminderung der Wärme ande seyn sollte, sondern es würde auch durchaus unwissenschaftli und den logischen Gesetzen des Denkens widerstreitend sey wenn man willkürlich irgend einen Punct festsetzen wollte, w das, was wir Wärme nennen, aufhören und eine ihr entgegen gesetzte Potenz anfangen sollte, zu deren Annahme gar kei Grund vorhanden ist, da sich alle Erscheinungen einfach a einem Mehr und Minder der vorhandenen Wärme erklär lassen.

A. Wesen der Wärme.

Es scheint zwar der Sache angemessen zu seyn, zuer die Thatsachen kennen zu lernen, das heifst, diejenigen E scheinungen zu erörtern, bei denen sich die Wärme thät zeigt oder die wir als Wirkungen derselben kennen, um a diesen auf das Wesen der zu untersuchenden Potenz zu schliefse allein man hat es zweckmäfsiger gefunden, und der Verfo der Untersuchungen wird dieses rechtfertigen, zuerst aus allb kannten, keiner nähern Prüfung bedürfenden, Thatsachen hy pothetisch zu bestimmen, wofür wir das, was wir Wärme ne nen, zu halten haben, und demnächst dieser Hypothese die E fahrungen anzupassen, um sie auf solche Weise gehörig zu begrü den. Diese Methode wollen wir auch hier befolgen, und zue untersuchen, was wir als die physische Ursache der Wärm

erscheinungen nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen anzunehmen haben[1].

2) Nach ARISTOTELES und den ältern Philosophen überhaupt war die physische Ursache aller Wärmeerscheinungen das Feuer (*Elementarfeuer; Ignis elementaris, materia calorifica*; Feu élémentaire), ein Element, ein feines, ätherartiges Wesen, welches sich am meisten von der schweren körperlichen Masse entfernte. Die Scholastiker wollten daher aus seinen Ausdrücken folgern, er habe das Feuer bloſs für eine Qualität, eine *qualitas occulta*, gehalten, was jedoch durch CASATUS[2] genügend widerlegt worden ist. Beim Wiedererwachen des Studiums der Natur war man geneigt, die Erscheinungen der Wärme von den Schwingungen der Körperelemente, eigentlicher wohl eines allgemein verbreiteten Aethers, abzuleiten. So ist nach Baco von VERULAM[3] die Wärme nichts anders als eine Bewegung der kleinsten Theile der Körper, welche wellenförmig nach auſsen streben, und CARTESIUS[4] hält dieselbe für die Folge der Bewegung des ersten Elements oder der subtilen Materie. Selbst NEWTON[5] äuſsert sich so, daſs er mindestens die Glühhitze für einen Zustand der Körper zu halten scheint, in welchem sie vermöge schwingender Bewegungen ihrer Theile Licht aussenden. Auch in andern Aeuſserungen NEWTON's, namentlich über die Bildung und Verbreitung des Wasserdampfes, könnte man Grund finden zu schlieſsen, daſs er das Feuer oder die Wärme für eine bloſse Kraft der Abstoſsung gehalten habe und ihr Wesen also auf Schwingungen zurückzuführen geneigt gewesen sey, wenn man aber aus der Hauptstelle, worin er seine Versuche über das Verhalten der Wärme im luftleeren Raume erzählt[6], zu schlieſsen sich berechtigt glaubt, daſs er die Meinung BACO's getheilt habe, so kann ich dieses darin

---

1 Vergl. H. A. LORENZ chemisch-physicalische Untersuchung des Feuers. Kopenh. u. Leipz. 1789.

2 Dissert. physica de Igne. Fr. et Leipz. 1688. p. 117.

3 De forma calidi. In dessen Opp. Amst. 1653. 12. oder Works. Lond. 1778. 5 Voll. 4.

4 Princip. Philos. L. IV. art. 29. §. 80.

5 Optice. ed. Clarke. Lond. 1706. 4. Q. 8; 9; 10. Corpora ad certum gradum calefacta emittunt lumen et splendent, eaque luminis emissio per motus vibrantes partium suarum efficitur.

6 Optice Lib. III. quaest. XVIII.

nicht finden, vielmehr redet er von einem feinen ätherisch-
Fluidum, dünner als die Luft, welches durch seine Schwingu-
gen sich wirksam zeige. ATHANASIUS KIRCHER[1] verst-
schwerlich sich selbst, wenn er im groben Materialismus
Feuer ein dem Schwefel ähnliches Element nannte, und ni-
wohl begreiflich sind auch die Ansichten des ROB. BOYL-
wonach das Feuer eine ponderabele Materie seyn, die Ersch-
nungen der Wärme aber auf Schwingungen der Körperth-
beruhn sollen. Dafs übrigens NEWTON eine Wärmemat-
angenommen habe, dürfen wir um so weniger bezweifeln,
auch sein Anhänger CHRISTIAN WOLFF[3] ausdrücklich sagt,
gebe eine eigene, überall in den Körpern verbreitete Mater-
welche die Erscheinungen der Wärme hervorbringe, statt d-
LOMONOSOW[4] die gesammten Wärmephänomene aus einem *m-*
gyratorio elementorum corporis ableitet, wobei er sich verg-
bens bemüht, die Erzeugung der Kälte durch kaltmachen-
Mischungen mittelst künstlicher Hypothesen dieser Theorie a-
zupassen. Einige Gelehrte hielten das Feuer für ein Mitte-
ding zwischen Körper und Kraft, weil sie sich scheuten,
Materialität desselben anzunehmen, zugleich aber die Ersche-
nungen aus blofsen Bewegungen abzuleiten nicht vermochte-
Dieses ist der Fall bei VAN HELMONT[5], schwerlich aber we-
den die Anhänger der Bewegungstheorie das Argument d-
Abbé NOLLET[6] genügend gefunden haben, dafs jede Bewegu-
in ihrem Fortgange abnehme, das Feuer aber zunehme, wie
nur an einer kleinen Stelle angezündeter Holzstofs zeige. BOE-
HAVE[7] hat für seine Zeit, wo man die eigentliche Wärme v-
dem, was im Processe des Brennens bedingend wirkt, no-
nicht zu scheiden vermochte, die Erscheinungen sehr gut au-
gefafst und aus einem gewissen ätherischen Fluidum mit viel-
Scharfsinn erklärt, und auch L. EULER[8], wie sehr er übrige-

1 Mundus subterraneus. Amst. 1665. fol. T. I. lib. IV. sect. cap. 2.

2 Historia experimentalis de frigore. Lond. 1665. New expe-ments and observations touching cold. Works T. II. p. 228.

3 Nützliche Versuche. Th. II. Cap. IX. §. 206.

4 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 206.

5 Opera omn. Frf. 1707. 4. p. 120. §. 24.

6 Leçons de Phys. Leç. XIII. sect. 1.

7 De igne. In Elem. Chem. T. I. p. 116.

8 Diss. de Igne. In Recueil des pièces qui ont remporté le prix. 17-

änger der Cartesischen Schule war, nahm zur Erklärung Wärmeerscheinungen einen eigenen ätherischen Stoff an. r den bedeutenden Autoritäten, deren Ansichten auf die chenden Meinungen ihrer Zeit einen entscheidenden Einausübten, mufs vorzugsweise PETER VAN MUSSCHENBROEK[1] nt werden, welcher sich ganz unzweideutig für einen iellen Wärmestoff ausspricht. Später äufsert sich dieser rte auch deutlicher, indem er die Gewichtszunahme verr Metalle als eine Folge des Zutritts der Wärme betrachie hiernach nicht blofs materiell, sondern zugleich schwer müfste[2]. Indem sich also die angesehensten Gelehrten der igen Zeit, als BOERHAVE, NOLLET, L. EULER, CHR. r und PET. v. MUSSCHENBROEK, für einen materiellen estoff, eine sogenannte Feuermaterie, erklärten, so können ieraus schliefsen, dafs diese Ansicht die damals allgemein hende war, wozu sich auch die übrigen bekannten, wenn ihre Aeufserungen hierüber minder deutlich und bestimmt Dahin gehören namentlich JOH. HEINR. WINKLER[3], E MARTINE[4], WOLFG. KRAFT[5], BENJ. FRANKLIN[6], JOH. . BIKKER[7], WILH. HILLARY[8], R. L. DE HERBERT[9] ndere, welche insgesammt später wegen ihrer specielleren chungen noch erwähnt zu werden verdienen.

) Die Frage, ob die Ursache der Wärmephänomene eine elle Substanz sey, oder blofs auf Bewegungen der Beeile der Körper beruhe, war für die Gelehrten des vo-Jahrhunderts keineswegs so einfach, als gegenwärtig die ie über das Wesen des Lichts ist, oder als jene selbst

---

Epitome elementorum physico-mathematicorum. L. Bat. 1726. Erga ignis constat ex partibus subtilissimis, quae poros solidorum intrare et penetrare possunt.
Introductio. T. II. 1578. p. 632.
Dissert. de caussis frigoris et glaciei. Lips. 1737. 4.
Medical and philosophical Essays. Lond. 1740. Essais sur la ction et comparaison des thermomètres cet. trad. de l'ang. 51.
Comm. Petrop. T. XIV. p. 218.
Phil. Works. 5th ed. p. 351.
Dissert. de igne. Ultraj. 1756. 4.
The nature and laws of fire. Lond. 1760. 8.
Dissertatio de Igne. Vienn. 1773. 8. Vergl. An Inquiry into fects of Heat. Lond. 1770. 8.

sich in späteren Zeiten gestaltet hat, vielmehr wurde sie w
schwieriger und in einem hohen Grade verwirrt durch die Ei
führung des ebenso dunkeln als unbestimmten Phlogisto
Nach der Mitte des vorletzten Jahrhunderts leitete Joh. Joa
Becher[1] die Erscheinungen des Feuers von einem eige
Grundstoffe, einer entzündlichen Erde, ab, und seine Nachf
ger, namentlich die Chemiker, blieben bei diesem unklaren B
griffe stehen, bis im Anfange des vorigen Jahrhunderts Geo
Ernst Stahl[2] darzuthun sich bemühte, daſs es ein eige
thümliches, an eine zarte Erde gebundenes Feuer gebe, welc
er *Phlogiston*, *Brennstoff*, nannte. Dieses Phlogiston soll
nach seiner Ansicht an einige, der Verbrennung fähige Kö
per gebunden seyn und das Verbrennen derselben daher
einem Freiwerden dieses Stoffes beruhn, anderen Körpern so
es dagegen fehlen, weswegen diese unverbrennlich seyn mu
ten. Es ist nicht der Mühe werth, den Gang der Unters
chungen zu verfolgen, die man auf die nähere Kenntniſs die
hypothetisch angenommenen und zugleich für so höchst wic
tig gehaltenen Stoffes verwandte, vielmehr genügt es bloſs
Allgemeinen zu bemerken, daſs sich das Ansehen desselb
erhielt, bis Lavoisier[3] die Nichtigkeit aller zu seiner Unte
stützung aufgestellter Argumente nachwies und die hiern
benannte *antiphlogistische Chemie* gründete. Zwar bemüh
sich F. A. C. Gren[4] zuletzt noch, die Existenz des Phlog
stons, welches nach ihm aus einer Vereinigung von gebunden
Wärme und Licht bestehen sollte, dadurch zu retten, daſs
demselben eine *negative Schwere* beilegte, um zu erkären, wa
um verbrannte, also ihres Phlogistons beraubte, Körper ei
Vermehrung ihres Gewichtes erhielten, allein diese ungenügen
Hypothese wurde sehr bald durch J. T. Mayer widerleg
Während des lange dauernden Streites über das Wesen d
Phlogistons und dessen Verhältniſs zum Feuer, letzteres

1 Oedipus Chemicus. Frcf. 1664.

2 Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über den Stre
von dem sogenannten *Sulphure*. Halle 1718. 8. Experimenta obser
animad. CCC. Berol. 1731. 8.

3 Mém. de l'Acad. 1777. Traité élém. de Chimie. Par. 1789. 8

4 System. Handbuch der ges. Chemie. Halle 1787. 8. Grundri
der Naturlehre. Halle 1788. 8. §. 749 ff.

5 Vergl. *Schwere*. Bd. VIII. S. 687.

sache aller Wärmeerscheinungen betrachtet, war es kaum glich, zu genauen Bestimmungen über das Wesen der Wärme gelangen, und es ist daher gegenwärtig sehr schwer, aus den äusserungen der damaligen Gelehrten zu entnehmen, ob sie Phlogiston als feine ätherische Substanz für die Wärme st oder nur für einen Träger derselben hielten. Zum Glück diese Frage bloſs historisches Interesse und es genügt davollständig, sie nur aus diesem Gesichtspuncte im Allgemeinen zu betrachten. Ein groſses Ansehn erhielt die von quer[1] aufgestellte Hypothese, wonach die Lichtmaterie ach die Grundlage der Wärme ist, nachdem sie sich mit Phlogiston verbunden hat und dann als eigenthümlicher ischer Stoff, Feuer genannt, die Eigenschaft der Repulsion treben nach Ausdehnung und Flüssigkeit beibehält, wähdie an die Körper gebundene Wärme durch Erschütterung Bewegung der kleinsten Theile frei wird. Als eine Verng von Licht und einem feinen Stoffe, entweder dem iston selbst oder einer Grundlage desselben, so daſs letzerst aus der vorausgegangenen Verbindung hervorging, hteten Pott[2] und Wallerius[3] das Feuer, Weigel[4] Baumé[5] dagegen hielten das Feuer für das ursprüngliche nt, welches nach ihnen die Erscheinungen des Lichts und Wärme erzeugen sollte, statt daſs Joh. Fr. Meyer[6], so ch in seine hochtrabenden und verworrenen Aeuſserungen Sinn bringen läſst, dasselbe für eine Zusammensetzung icht, fetter Säure, Erde und Wasser erklärte. C. W. le[7] glaubte im Lichte ein Wesen gefunden zu haben, s das Brennen und überhaupt Wärmeerscheinungen herngt, weswegen er dasselbe nicht für einfach halten, son-

---

Dictionnaire de Chymie, contenant la théorie et la pratique de cience. Paris 1766. 3 T. 12. sec. éd. 4 T. 8. Uebers. Gehlert. Leipz. 1781 bis 1783. 6 T. 8. Neue Aufl. 1788 bis T. 8.

Lithogeognosie. Th. I. S. 66.

De materiali differentia luminis et ignis. Lips. 1780.

Grundriſs der reinen und angewandten Chemie. Greifsw. 1777. 8.

Erläuterte Experimentalchemie. Bd. I. S. 182.

Chymische Versuche zur näheren Kenntniſs des ungelöschten Hann. u. Leipz. 1764. 8.

Chemische Abhandl. von d. Luft und dem Feuer. Ups. u. 1777. 8.

dern vielmehr als eine Verbindung mit einem elementaren Bre baren betrachten wollte. Wie großes Aufsehen auch Lav sier's[1] classische Arbeiten erregten, welcher die Nichtexis des Phlogistons aus entscheidenden Versuchen folgerte, dage einen eigenthümlichen Stoff als Grundlage aller Erscheinun der Wärme und des Lichts annahm, so blieb es doch ge geraume Zeit unmöglich, die eingewurzelten Vorurtheile das einmal eingeführte Phlogiston gänzlich zu beseitigen. zwischen erklärte sich Buffon[2] bestimmt gegen die Exis des Phlogistons und nahm statt dessen einen eigenen Wär stoff an, wie Marat[3], welcher aus einer großen Rei mühvoller Versuche folgerte, daſs die von ihm so genan Feuermaterie oder feurige Flüssigkeit (fluide igné), die sehr durchsichtigen, zarten, schweren, höchst bewegli äuſserst harten und kugelförmigen Theilchen bestehn so welche in den Körpern durch ihre Bewegung die Erschein gen der Wärme und Flamme erzeugten, von dem Lichte, dem Ph giston und der Elektricität wesentlich verschieden sey. übrigen Folgerungen, welche er hinsichtlich der Wär theorie aus seinen Beobachtungen ableitet, sind ganz unhalt Ungleich gehaltreicher und werthvoller sind die Leistung Crawford's[4] im Gebiete der Wärmelehre, wobei er die du Wilke, Black und Irwin angestellten Beobachtungen b nutzte. Sofern aber hier bloſs seine Ansichten über das W sen der Wärme in Betrachtung kommen, muſs es auffall daſs er, ungeachtet seiner schätzbaren Versuche, dennoch Existenz des Phlogistons annahm, nur sollte dieses ein eige thümlicher Stoff und dem Feuerstoffe entgegengesetzt se so daſs die Anwesenheit des erstern in den Körpern die An nahme des letztern hinderte. Allmälig wurde der Streit ni

---

1 Mém. sur la combustion. In Mém. de Par. 1777.

2 Supplém. de l'Hist. Nat. ed. 12. T. II. p. 61.

3 Découverte sur le Feu, l'électricité et la lumière. Par. 17 8. Uebers. von Weigel. Leipz. 1783. Recherches sur le feu. Par. 17

4 Experiments and observations on animal heat and the infla mation of combustible bodies. Lond. 1779. 8. A. Crawford's Ve u. Beob. über die thier. Wärme und die Entzündung brennbarer Kö per mit W. Morgan's Erinnerungen gegen d. Theorie d. Herrn Leipz. 1785. 8. Vergl. Lichtenberg in Erxleben's Anfangsgr. §. 4 Karsten's Anleitung zur gemeinnützigen Kenntniſs d. Natur. Ha 1783. 8.

wohl über das eigentliche Wesen des Feuers, sofern es die
Grundursache aller Wärmeerscheinungen seyn sollte, als viel-
mehr über die Existenz des Phlogistons und die Richtigkeit
des antiphlogistischen Systems geführt. Hierhin gehören unter
andern die Untersuchungen von KIRWAN[1] nebst den Einwen-
dungen, die den daraus abgeleiteten Folgerungen von den fran-
zösischen Gelehrten entgegengesetzt wurden[2], die von SCHERER[3]
u. Andern, so wie von GIRTANNER[4], welcher in Deutschland
zuerst als entschiedenster Gegner des Phlogistons und als An-
hänger des in Frankreich mit grofsem Beifall aufgenommenen
antiphlogistischen Systems auftrat. Einer der beharrlichsten
Gegner dieses letztern war J. A. DE LUC[5], welcher bis zu sei-
nem Ende dasselbe durch die Phänomene der Wasserbildung
in der Atmosphäre zu widerlegen hoffte. Aufserdem stellte
derselbe eine neue Theorie über das Wesen und die Wirkun-
gen des Feuers oder der Wärme auf, die er mit mehr Weit-
schweifigkeit als Gründlichkeit auf die verschiedenen Erschei-
nungen anwandte[6]. Im Allgemeinen unterscheidet er Dünste
und Luftarten, welche beide aus einem fortleitenden Fluidum
(fluide déférent) und einer ponderabelen Grundlage (sub-
stance purement grave) bestehn sollen, mit dem Unter-

1 Physisch-chemische Schriften. A. d. Engl. von L. CRELL. Bd. I.
u. II. Berl. u. Stett. 1785.

2 Essay sur le Phlogistique, traduit de l'Anglais de M. KIRWAN
avec des notes de MM. de MORVEAU, LAVOISIER et DE LA PLACE etc.
Par. 1788. Antiphlogistische Anmerkungen des Herrn de MORVEAU
u. s. w., nebst KIRWAN's Replik und der Duplik der franz. Chemiker.
A. d. Fr. u. Engl. von Dr. FR. WOLFF. Berl. 1791. 8.

3 Scrutinium hypotheseos principii inflammabilis. In JACQUIN
Collect. T. IV. J. A. SCHERER genaue Prüfung der Hypothese vom
Brennstoff. A. d. Lat. von K. BRETFELD. Prag 1795. 8.

4 Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Berl. 1792. 8.

5 GREN's Journ. der Physik. Th. VII. S. 105. Journ. de Phys.
T. XVII. p. 52.

6 Neue Ideen über die Meteorologie. Berl. u. Stett. 1787. 8.
Th. I. §. 115 ff. Diese und die übrigen älteren Theorieen findet man
zusammengestellt in: LAMPADIUS kurze Darstellung der vorzüglichsten
Theorieen des Feuers u. s. w. Gött. 1793. 8. Ursprünglich findet sich
diese Theorie schon in: DE LUC Lettres sur l'histoire de la terre et
de l'homme. T. V. p. 561. Mit Bemerkungen von PICTET in Leipz.
Mag. Th. II. S. 643.

schiede, dafs die Dünste durch bloßsen Druck eine Trennu dieser beiden Bestandtheile erleiden, die Luftarten aber auf ei weit innigern Verbindung derselben beruhn und daher viel b ständiger sind, weswegen sich bei den Dünsten das fortl tende Fluidum von selbst frei macht, um sein Gleichgewi wieder herzustellen, dagegen aber der schweren Grundlage me ausdehnende Kraft giebt, vorzüglich wenn es in gröfserer Men darin vorhanden ist. Beim Feuer ist die fortleitende Flüs keit das Licht, die ponderabele Substanz eine gewisse Fe materie, welche jedoch für sich allein nicht darstellbar und her ganz unbekannt ist. Durch die Verbindung mit der Fe materie verliert das Licht seine Kraft zu leuchten, gew dagegen eine andere, nämlich zu wärmen. Ueberschreitet Feuer eine gewisse Dichtigkeit, so trennt sich die Lichtma von selbst und es erfolgt das Glühen, welches bis zum We glühen zunimmt, wobei alles Licht von dem zweiten Besta theile getrennt wird. Die Sonnenstrahlen sind demnach n an sich warm, sondern sie erhalten diese Eigenschaft durch ihre Verbindung mit der in den Körpern enthaltenen Fe materie[1].

4) Unter die gewiegtesten Gegner der antiphlogistischen Che gehört vorzugsweise Dr. Richter[2]. Dieser setzte den aufgestel Argumenten entgegen, dafs sie nicht unmittelbar aus den Erfahr gen entnommen, sondern aus Folgerungen abgeleitet seyen, denen die Erfahrungen nicht berechtigten. Wenn das Verbr nen der Körper als Folge einer auf einfacher Wahlverwandtsc beruhenden Verbindung der verbrennlichen Substanz mit Sau stoff unter Ausscheidung von Wärme betrachtet werde, so nüge dieses der Erfahrung nicht, da offenbar eine vierte I tenz, das Licht, sich dabei zeige, wonach also mit weit gröf rer Wahrscheinlichkeit noch eine Materie anzunehmen sey, mit Wärme verbunden als Licht zum Vorschein komme welche man nicht wohl mit Wärme für identisch halten kön

1 De Luc stützt seine Theorie hauptsächlich auf die durch Pic angestellten, oben Th. IX. S. 345 erwähnten Versuche. S. De L Lettres sur l'histoire de la Terre et de l'homme. T. V. p.561. Ve Leipz. Samml. Th. II. S. 648.

2 Ueber die neueren Gegenstände der Chemie. Bresl. u. Hirsc 1798. 8. St. 3.

Der Verbrennungsprocefs deute also vielmehr auf eine doppelte Wahlverwandtschaft, sofern man annehmen müsse, dafs die ...nnbaren Körper aus einer säurefähigen Grundlage und aus ...ennstoff oder Phlogiston beständen, welche letztere Substanz ...t Wärme verbunden als Licht zum Vorschein komme und ...en Existenz sich den Erfahrungen gemäfs ebenso wenig weg-...gnen lasse, als die des Wärmestoffes. Mit dieser Hypothese ...ärt Richter leicht und consequent alle die vorzüglichsten ...scheinungen, worauf die Antiphlogistiker ihr System grün-...n; genau genommen liegt jedoch in seiner Darstellung ...t mehr Hypothetisches, als die Gegner sich erlaubten. Letz-...blieben bei den einfachen Thatsachen stehen, indem sie ...ts weiter als eine nach genau bestimmten quantitativen Ver-...issen statt findende Verbindung des Sauerstoffs mit den ...efähigen Grundlagen annahmen, die gleichzeitig statt fin-...e Ausscheidung oder Erzeugung der Wärme mit oder ohne ...indung von Licht aber einstweilen unerklärt liefsen oder ...ne specielle Untersuchung verwiesen, statt dafs Rich-... das Vorhandenseyn der Wärme gleichfalls annahm und ...dem, ganz hypothetisch, einen Brennstoff einschob, so ...len unbegründeten Satz, dafs eine Verbindung desselben ...ärme die Erzeugung von Licht bedinge, ohne dabei nur ...weisen, warum letzteres in so vielen Fällen nicht zum ...ein kommt.

Ungefähr um die Mitte des vorigen Jahrhunderts be-...e Adair Crawford die Wärmephänomene mit gröfse-...führlichkeit und bemühte sich, dieselben mehr zu ord-...d auf bestimmte Gesetze zurückzuführen, wobei er zwar ...Widerspruch fand, inzwischen erhielt sich doch seine ..., bis sie in den neuesten Zeiten durch die zahlreich-...tersuchungen eine veränderte Gestalt angenommen hat ...lmehr vielfach bedeutend modificirt in ihrer Gesammt-...ht weiter beachtet wird. Manche Gegner Crawford's ...hm vorgeworfen, die wichtigsten Versuche, worauf ...eorie beruht, seyen nicht von ihm selbst, allein dieses ...elbe auch nie behauptet, ihm gebührt aber dennoch ...ienst, das Ganze zu einem in sich consequenten Sy-...ordnet zu haben. Die Hauptsache bei ihm war ei-... die specifische Wärmecapacität der verschiedenen Kör-... das Latentwerden des Wärmestoffes genau zu erken-

nen, wodurch die sämmtlichen Erscheinungen ganz ausneh mend modificirt werden. Schon im Winter 1754 bemerkt DE LUC[1], dafs Thermometer in Eis eingeschlossen, welches i Trinkgläsern langsam schmolz, nicht stiegen, und wurde hier durch auf das Latentwerden der Wärme geführt. Wenige Jah nachher will BLACK[2] von ähnlichen, erst später bekan gewordenen, Versuchen in seinen Vorlesungen geredet haben; ge wifs aber ist, dafs er später mit IRVINE[3] Versuche mit Was und Quecksilber anstellte und dadurch nicht blofs die unglei specifische Wärmecapacität der verschiedenen Körper auffa sondern sie auch bei den genannten Substanzen bestimm Diese Thatsachen waren damals, wie auch noch jetzt, triftigsten Beweise eines materiellen Wärmestoffes, welcher n quantitativen Verhältnissen gemessen werden kann und n eben diesen bei verschiedenen Veränderungen gebunden bei andern wieder frei wird, weswegen auch MARAT[5] bei nen mehr weitschweifigen als gründlichen, auch damals sc mancher Berichtigungen bedürfenden Untersuchungen sich dieser Hypothese bekennt. Am ausführlichsten und gründli sten aber wurde diese Aufgabe durch WILKE[6] behand welcher im Jahre 1772 zuerst seine Erfahrungen über das tentwerden des Wärmestoffes bekannt machte, die er aus auffallenden Erscheinung entnahm, dafs heifses Wasser auf von 0° C. gegossen nicht diejenige Wärme der Mischung zeugte, die es nach RICHMANN's Regel erhalten mufste, s dern bei gleichen Massen beider Substanzen 72° C. Wä verlor, die durch das Schmelzen des Eises latent wurd Durch dieses ihm auffallende Verhalten aufmerksam gema

1 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 438.

2 Journ. de Phys. Ann. 1773. p. 165. Crell's neueste Entdeck gen. Th. IX. S. 218.

3 Chemical Essays.

4 MAGELLAN Essay sur la nouvelle Théorie du feu élément et de la chaleur des corps cet. Lond. 1780. 4. J. H. v. MAGEL physicalisch-math. Abhandl. vom Jahr 1779 u. 1780. Leipz. 1781.

5 Sur le Feu, l'électricité et la lumière cet. sec. éd. Par. 1 8. Ausführlicher in Recherches physiques sur le Feu. Par. 1780. Deutsch mit Anm. von WEIGEL. Leipz. 1782.

6 Kongl. Vetensk. Acad. Nya Handl. 1781. T. II. p. 49 ff. N schwed. Abh. Uebers. von KÄSTNER. Th. II. Schwed. Abh. XXXIV. S. 93.

untersuchte er sofort auch die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Körper. Nachdem er nämlich gefunden, dafs die beim Schmelzen des Schnees latent werdende Wärme 72° ... betrage, wollte er die in den verschiedenen Körpern vorhandene Wärme aus der Menge des durch sie geschmolzenen Schnees nach demselben Principe bestimmen, welches nachher Lavoisier und Laplace bei ihrem *Calorimeter* in Anwendung brachten; allein der Schnee verschluckte das geschmolzene Wasser, und machte hierdurch eine genaue Messung unmöglich, weswegen er in der Folge eiskaltes Wasser nahm, die Wärme mafs, welche die Körper darin erzeugten, hieraus berechnete, wie viel Eis dadurch schmelzen würde, und auf diese Weise indirect die specifische Wärme der Körper bestimmte.

Dieses war bereits vorausgegangen und mochte wohl mindestens grofsentheils zu Crawford's Kenntnifs gelangt seyn, als dieser im J. 1777 seine Versuche zu Glasgow anstellte und die allgemein bekannt gewordene und viel Aufsehn erregende Theorie darauf gründete. Sie wurde in ihren wesentlichsten Elementen zuerst bekannt durch eine kürzere Schrift[1], die nachher in einer zweiten Auflage[2] verschiedene Erweiterungen erhielt. Am meisten diente zur Verbreitung derselben eine kurze Darstellung, die J. G. Magellan[3] davon lieferte, und die meisten sehr unerheblichen Einwendungen, welche Morgan[4] dagegen aufstellte, konnten den Beifall nicht vermindern, welchen sie allgemein erhielt. Bei allen in der damaligen und der nachfolgenden Zeit über diesen Gegenstand erschienenen Werke und Abhandlungen, namentlich von Scopoli und Volta[5],

1 Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies cet. Lond. 1778.

2 A. Crawford's Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies. Lond. 1788. 8. Uebers. v. Crell. Leipz. 1789. 8.

3 Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire et de la chaleur des corps. Lond. 1780. 4. Versuch über die neue Theorie vom Elementarfeuer und der Wärme der Körper. Leipz. 1782. 8.

4 An examination of Dr. Crawford's Theorie of Heat and combustion. Lond. 1781. Adair Crawford's Versuche und Beob. u. s. w. ... Morgan's Erinnerungen wider die Theorie des Herrn Crawford. Leipz. 1785. 8.

5 Crell's neueste Entdeckungen in der Chymie. Th. XII. S. 1 ff. ...84.

Soycourt[1], C. R. Hopson[2], Leop. Vacca Berlinghier Marsigli Landriani[4], Du Tasta la Serre[5], Giovacchi Carradori[6], Franz Xaver Baader[7], Joseph Weber[8] u vielen Andern[9], wurde diese Theorie berücksichtigt und Ganzen mit Beifall aufgenommen, wenngleich andere Gelel Zweifel dagegen erhoben, wie namentlich Gren[10], zum Th um das beliebte Phlogiston zu retten oder es der neuen Th rie aufzudringen, noch andere aber, wie namentlich Lich berg[11] und Joh. Tob. Mayer[12], sie in einer durch ric Würdigung der zum Grunde liegenden und später aufgefu nen Thatsachen modificirten Gestalt darstellten.

Eine vollständige Mittheilung der *Crawford'schen Th* würde jetzt nicht mehr von genügendem Interesse seyn, u ist daher hinreichend, nur die Hauptelemente anzugeben. nach heifst Hitze oder Feuer die physische Ursache aller Erscheinungen, die wir jetzt als Folgen der Wärme betrac und wenngleich nicht ausdrücklich gesagt wird, dafs Ursache materiell sey, so liegt dieses doch entschieden g in der ganzen Darstellung, um jeden Zweifel dagegen a

---

Auch in Macquer's chemischem Wörterbuche. Ital. Ausgabe. Calore.

1 Ueber die Versuche zum Beweise einer latenten Wärme. d. Franz. Quedlinb. 1790.

2 An Essay on Fire. Lond. 1781. 8.

3 Esame della Teoria del Calore del celebre Inglese Craw ect. Pisa 1787. 4.

4 Opusc. fisico-chem. p. 81.

5 La Théorie du feu avec son application au corps hu Avignon 1788.

6 La Teoria del Calore. Firenze 1787. 2 T.

7 Vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und En dung u. s. w. Wien u. Leipz. 1786. 4.

8 Ueber das Feuer. Landsh. 1788. 8.

9 Abhandlungen über d. Wärme. In Crell's neuesten Entdec gen. Th. XII. Vergl. Karsten's Anleitung zur gemeinnützigen Ke nifs der Natur. Halle 1783. S. 601.

10 Dessen Journal d. Physik. Th. I. S. 1 ff.

11 J. C. P. Erxleben Anfangsgründe d. Naturlehre. 6te Aufl. 1 S. 432.

12 Ueber die Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. 1791. Hierin ist dieser Gegenstand am ausführlichsten und gründl sten behandelt.

schneiden. Diese Hitze, an sich betrachtet und ohne Rücksicht auf die durch sie erzeugten Veränderungen in den Körpern, nennt Crawford *absolute Hitze* (absolute Heat), in Beziehung auf die Wirkungen aber, die sie erzeugt und durch die sie gemessen wird, heifst sie ihm *relative Hitze* (relative Heat). Die letztere zeigt sich unter drei Modificationen, zuerst als solche, die empfunden wird (*sensible Heat*), dann als solche, die das Volumen der Körper vermehrt, somit also durch das Thermometer gemessen werden kann (*Temperature of Heat*), und endlich als solche, die bei gleichen Massen und Temperaturen der Körper dennoch eine verschiedene Quantität vorhandener absoluter Wärme voraussetzt (*comparative Heat*), wonach die Körper eine ungleiche Capacität der Wärme haben. ine blofse Uebersicht dieser Sätze ergiebt bald, dafs man alle rscheinungen der freien, relativen (nach Wilke besser specichen) und latenten Wärme leicht auf dieselben zurückbringen n.

6) Die Untersuchungen über das Verhalten der Wärme, wie auch das Wesen und die Modificationen derselben, wur- zu jener Zeit mit denen über den Sauerstoff als Bedin-g des Verbrennens, der thierischen Wärme und des Kei-s der Gewächse verschmolzen, wobei aber allezeit ein ma-ller Wärmestoff angenommen wurde und nur das Bestre- vorherrschte, die verschiedenen Erscheinungen dieser Hy-ese anzupassen. Lichtenberg[1], damals unzweifelhaft eine e Autorität, erklärt sich hierüber ohne Rückhalt, indem mifsbilligend bemerkt, dafs Crawford eine entschiedene twortung zu umgehen suche, obgleich seine Meinung dar- nicht zweifelhaft sey, er selbst es aber für besser halte, Behauptung über die wirkliche Existenz eines materiellen mestoffes bestimmt auszusprechen. Nicht grofsen Beifall die in das ganze Gebiet der Naturlehre tief eingreifende rie, welche J. H. Voigt[2] aufstellte, wonach unter den Körpern und deren Veränderungen zum Grunde liegenden infachen und für sich bestehenden Stoffen zwei zum Bren- einer für das Licht, zwei für die Elektricität und zwei

1 Erxleben's Naturlehre. 6te Aufl. S. 434.
2 Versuch einer neuen Theorie des Feuers u. s. w. Jena 1793. . Gren's neues Journ. Th. III. S. 235.

für den Magnetismus gehören, wobei er das Phlogiston unt gewissen Modificationen zu retten sucht und als den einen, b den Erscheinungen der Wärme thätigen Bestandtheil annimm Es verlohnt sich nicht der Mühe, diese Hypothese ausführlich zu prüfen, inzwischen geht aus dem hier Mitgetheilten so vi hervor, dafs auf jeden Fall die Mehrheit der Physiker, bis a Ende des vorigen Jahrhunderts, die Wärmephänomene auf e nen gewissen materiellen Grundstoff zurückzuführen bem war, denn auch Pictet[1], ein in diesem Zweige als class geltender Schriftsteller, erklärt die Ursache der Wärmephä mene für einen materiellen Stoff, den man am besten durch französische Wort *Calorique* bezeichnen könne.

7) Die in diese letztere Zeit fallenden Versuche und d auf gebaueten Schlüsse des Colonel Benjamin Thompson, na herigen Grafen Rumford, bilden einen wichtigen Abschnitt der Geschichte der Meinungen über das Wesen der Wär Seine schon im J. 1778 angestellten bekannten Versuche ü die Kraft des Schiefspulvers[2] führten ihn zu der Wahrn mung, dafs ein Schufs ohne Kugel das Geschütz stärker wärmt, als mit derselben, und da man gerade das Gegent erwarten sollte, sofern das Fortschleudern der Kugel in Fo ihres Widerstandes das heifse Gas eine längere Zeit im La zurückhält, so beschlofs er, das Wesen und das Verhalten Wärme einer näheren Untersuchung zu unterwerfen, und z um so mehr, je weniger er die beobachtete Erscheinung mit Hypothese eines *Calorique* in Einklang zu bringen wufste. seinen Untersuchungen über die specifische Wärmecapacität Körper unterbrochen, und da diese unterdefs durch Wilke genügende Weise angestellt worden waren, wandte er sich zunäc zu dem Problem, die Gesetze des Durchganges der Wärme du den leeren und erfüllten Raum auszumitteln[3]. Einen weite wichtigen Beitrag zur Begründung seiner Wärmetheorie e nahm Rumford aus den Resultaten der im grofsen Mafsst angestellten Versuche über die Hitze, welche in gerieben

1 Versuch über das Feuer. Aus d. Franz. Tüb. 1790. §. 3.

2 Philos. Trans. T. LXXI. Philosophical Papers. Lond. 18 Mémoires sur la Chaleur. Par. Ann. XIII. (1804.)

3 New Experiments upon Heat. Lond. 1786. Philos. Trans. LXXVI. u. LXXXIII. Gren Journ. Th. VII. S. 245.

Körpern erzeugt wird[1]. Er bediente sich hierbei der unter seiner Aufsicht stehenden Kanonenbohrmaschine zu München und wählte zum geriebenen Körper einen sogenannten *verlorenen Kopf*[2] von einem Sechspfünder. Hieraus liefs er einen 9,8 Z. langen, 7,75 Z. dicken Cylinder drehen, diesen alsdann mit einem gewöhnlichen Bohrer 7,2 Z. tief und 3,7 Z. weit ausbohren, während er durch einen kleinen Hals mit der Kanone zusammenhing, und also mit letzterer zugleich in horizontaler Lage um ihre gemeinschaftliche Axe gedreht werden konnte. In die Oeffnung wurde dann ein absichtlich stumpf gemachter Stahlbohrer gebracht, der sie fast genau ausfüllte, und indem dieser zur Verstärkung der Friction einen Druck von etwa 10000 Pfund ausübte, machte die Kanone 32 Umdrehungen um ihre Axe in einer Minute. Der hohle Metallcylinder hatte eine Masse von 385,75 engl. Kubikzoll und wog 113,13 engl. Pfund; in seiner Seite war ein 4,2 Z. tiefes Loch eingebohrt, um ein Thermometer zum Messen der Temperatur einzusenken. Nach 30 Minuten und 960 Umdrehungen war die Wärme von 15°,6 C. bis 54°,5 C. vermehrt und die 837 Gran abgeriebener schuppiger Metallspähne zeigten keine Spur von Oxydirung, auch nahm die Wärme bei Fortsetzung der Versuche fortwährend ohne ein Versiegen ihrer Quelle zu. Ebendieses Resultat gab ein zweiter Versuch, bei welchem um die vierkantige eiserne Stange des Bohrers ein die Mündung des hohlen Cylinders genau verschliefsender Cylinder gelegt war, damit der äufsern Luft der Zutritt zur innern Höhlung abgeschnitten würde. Noch interessanter war das Resultat eines dritten Versuches, wobei der Bohrapparat sich in einem mit Wasser gefüllten hölzernen Kasten befand, durch dessen eine Seitenwand das Verbindungsstück, welches den hohlen Cylinder an der Kanone hielt, wasserdicht hindurchging. Die Menge des Wassers betrug 18,77 Pfund, und es stieg nach einer Stunde von 15°,6

1 Philos. Trans. 1798. P. I. p. 80 ff. Journ. de Phys. T. ... II. p. 24. Experimental Essays. Ess. IX. In diesen nach und nach erschienenen Essays finden sich die sämmtlichen hierher gehörigen Untersuchungen Rumford's. Die gesammten XV Essays machen ... aus.

2 So nennt man ein massives Metallstück, welches an der Mündung der Kanone, damit diese nicht porös wird, angegossen und nachher weggesägt zu werden pflegt.

C. auf 41°,7, nach 1,5 Stunden auf 60°,6, nach 2 Stunden au 81°, nach 2 Stunden 20 Min. auf 93°,4, und fing nach 2,5 Stunden an zu sieden[1]. Als nachher bei der Wiederholung diese Versuches der Stopfer, welcher die Oeffnung des Cylinder verschlofs, weggenommen, und dem Wasser freier Zutritt i das Innere des Cylinders gestattet wurde, änderte dieses da Resultat nicht wesentlich. Rumford argumentirte daher, di hierbei entstandene Wärme könne nicht aus den wenigen Boh spähnen, noch aus dem Wasser entwickelt, auch nicht du die eiserne Bohrstange oder den kleinen Hals an der Kan zugeleitet worden seyn, indem diese Theile vielmehr stets Wär abführten, und da aufserdem die Quelle der Wärme nie versi so müsse man es aufgeben, sie für ein materielles Wesen halten, und sie vielmehr als eine blofse Bewegung betracht Man soll demnach die Erzeugung der Wärme mit der Schalles vergleichen, sofern eine geschlagene Campane anh tend tönt. Berthollet[2] erklärte sich gegen diese Folgerun und leitete die entstandene Wärme aus einer Zusammendrück des Metalles ab, wodurch aber so viel Wärme entbunden wer als welche im Stande seyn würde, das Volumen des gerieb nen Körpers um ebenso viel zu vergröfsern, als es durch Reiben vermöge des starken Druckes vermindert wurde, u eine leichte Berechnung ergiebt, dafs die hierzu erforderlic Erhöhung der Temperatur leicht die wahrgenommenen Ersch nungen hervorbringen konnte, allein Rumford setzt dieser A gumentation entgegen, dafs dann die Wärme durch den ang wandten Druck plötzlich im Maximum erzeugt worden seyn müfs und mit noch mehrerem Grunde, dafs dann die Wärmequelle ni unerschöpflich seyn könne. Wäre die Reibung so lange fortg setzt worden, um die gesammte Metallmasse von 113,13 Pfund Spähne zu verwandeln, so würde dadurch eine Wärmemen erzeugt worden seyn, genügend um mit Rücksicht auf die sp Wärme 46165 Pfund des Metalles vom Frostpuncte bis zu Siedepuncte zu erwärmen oder auch eine sechzehnmal so gro

---

1 Die Menge der erzeugten Wärme wächst mit der Geschw digkeit der Reibung und der Stärke des Druckes; bei diesem V suche setzt sie Rumford derjenigen gleich, welche neun brenne Wachskerzen geben. S. Mémoires. p. XXXVI.

2 Essay de Chimie statique. Par. 1803.

Metallmasse zu schmelzen, als welche beim Versuche in Anwendung gebracht wurde.

Bald nachher, im Jahre 1800, wiederholte RUMFORD zu Edinburg in Gemeinschaft mit HOPE, PLAYFAIR und STRUVART die bekannten Versuche von PICTET mit Hohlspiegeln, in deren Brennpuncten sich Eis und ein Thermometer befanden, und glaubte auch hierbei die Erzeugung der Wärme ganz ähnlich der eines Tones zu finden. Nach Beendigung der Versuche über die Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen, welche demnächst zu erwähnen sind, wandte sich RUMFORD im Jahre 1803 zur Untersuchung des Ausstrahlungsvermögens verschiedener Oberflächen, und zeigte im folgenden Jahre zu Paris die Resultate derselben den Mitgliedern des Instituts, um damit die Hypothese von der Existenz eines Wärmestoffes gänzlich zu widerlegen[1]. Mit Uebergehung der demnächst näher zu erörternden Versuche verdient hier bloſs bemerkt zu werden, daſs in Gemäſsheit aller dieser Untersuchungen RUMFORD die gesammten Wärmephänomene auf Strahlungen zurückführen wollte und diesemnach sowohl *Wärme-* als auch *Kältestrahlen* (Rayons calorifiques et frigorifiques) annahm, beide den Schallwellen ähnlich, und zwar so, daſs sich die Strahlen von gröſserer oder geringerer Intensität so von einander unterscheiden, als diejenigen, welche einem höhern oder tiefern Tone zugehören, eine Vergleichung, die auf jeden Fall unzulässig ist, sofern sich bei den Schallwellen wohl ein Unterschied, aber kein eigentlicher Gegensatz findet, wie bei der Annahme von Wärme- und Kältestrahlen nothwendig gesetzt werden müſste.

8) Nicht viel später als RUMFORD trat ein anderer, in der Folge so berühmt gewordener Gelehrter als Vertheidiger der Vibrationstheorie oder vielmehr als Gegner eines eigenthümlichen Wärmestoffes auf. HUMPHRY DAVY eröffnete seine gelehrte Laufbahn mit einer Abhandlung über das Wesen der Wärme und des Lichts[2], worin er die Materialität des Lichtes zu erweisen, die der Wärme aber zu widerlegen bemüht war.

---

1 Vergl. G. XVII. 33 u. 213.

2 Essay on Heat, Light and the Combinations of Light. In Contributions to physical and medical knowledge, collected by Th. Beddoes. Bristol 1799. T. I. p. 1.

Berücksichtigen wir zunächst nur seine Ansichten über d. Wesen der Wärme, so gehn diese von der, hauptsächlich durc LA PLACE vertheidigten, Hypothese eines Conflictes zweier i allen Körpern thätigen Kräfte aus, einer anziehenden und ein abstofsenden, die durch ihren Gegensatz den beharrenden Zu stand eines bleibenden Gleichgewichts (*équilibre stable*) erzeu gen. Indem aber alle Körper durch Wärme ausgedehnt wer den, und zwar so ziemlich den Zunahmen derselben proporti nal, so soll dieses zu dem Schlusse führen, dafs eben Wärme dasjenige Etwas sey, wovon die Repulsion in der M terie herrührt. Nehme man einen Wärmestoff als Ursache Repulsion an, so sey damit nicht nachgewiesen, woher d selbe diese Eigenschaft erhalte, und es werde dabei unlog die Repulsion und Elasticität durch Repulsion und Elastic erklärt.

Sicher waren es nicht sowohl diese allzuwenig haltbaren th retischen Gründe, welche H. DAVY bewogen, die Materialität Wärme zu bestreiten, als vielmehr die erwähnten Versu RUMFORD's, die er selbst zum Theil mit einigen Modificatio wiederholte und wobei er argumentirte, dafs nach der Hy these eines materiellen Wärmestoffes der Ursprung der dadu erzeugten Hitze auf keine Weise aufzufinden sey, weil we eine verminderte Wärmecapacität, noch eine Art der Verbre nung durch Aufnahme des umgebenden Sauerstoffgases, n auch eine Zuleitung von andern Körpern dabei statt finde. seinen Versuchen wurde Eis an Eis gerieben und dadurch z Schmelzen gebracht, indem zugleich das dadurch erhalte Wasser ungeachtet seiner gröfseren Wärmecapacität doch e erhöhete Temperatur zeigte. Ein eigens construirter App rat diente dazu, um unter einen exantlirten, durch ein Tropfen vorher hineingebrachtes, im Vacuum verdampfen Wasser völlig luftleer gemachten Recipienten ein metalle Rad an einem Metallblech reiben zu lassen. Um die letz Spuren des als Ursache der Erwärmung von den Antiphlog stikern betrachteten Sauerstoffgases der etwa zurückbleibend atmosphärischen Luft wegzuschaffen, war der Recipient vorher m Kohlensäure gefüllt und während der Reibung mit Eis umgeb worden, damit keine Wärme von aufsen eindränge; die erzeug Wachs zum Schmelzen bringende Wärme war also aus de 0,5 Pf. betragenden Metalle entwickelt, woraus folgt, dafs

kein materieller Stoff seyn könne, sondern von einer besondern Bewegung der Körpertheilchen herrühren müsse.

Wegen der großen Celebrität, welche H. Davy später erlangt hat, ist es wohl der Mühe werth, die Hauptsätze seiner Wärmetheorie kurz zu erwähnen, die zwar unter sich Zusammenhang haben, dennoch aber einigen Zwang und manche Inconsequenzen nicht verkennen lassen. Wärme ist nach ihm die Kraft, welche die durch Attraction bedingte innige Berührung der Körperelemente hindert, und die Empfindung derselben, so wie ihres Gegentheils, der Kälte, besteht in einer eigenen Art von Bewegung, wahrscheinlich einer Vibration der kleinsten Körpertheile, die mit Grunde *repulsive Bewegung* genannt werden kann. Wenn diese letztere aber der planetarischen Centrifugalkraft analog seyn soll, wie die Attraction der Centripetalkraft, so ersieht man hieraus, daſs bei der Hypothese eine hinlänglich scharfe Bestimmung der Begriffe fehlte. Leicht ist es übrigens, wenn man es mit dem innern nothwendigen Zusammenhange zwischen Ursache und Wirkung nicht sehr genau nimmt, eine Menge Thatsachen mit anscheinender Consequenz an sie zu knüpfen. So folgt der verschiedene Aggregatzustand der Körper von selbst aus der ungleichen Wirksamkeit der beiden Kräfte, beim Lichte aber soll die Repulsion so sehr überwiegend seyn, daſs ohne meſsbaren Einfluſs der Attraction die Theilchen sich mit der gröſsten Schnelligkeit und ins Unendliche von einander trennen, was *repulsive Projection* genannt wird. Die Uebergänge aus einem Aggregatzustande in den andern beruhn auf einer Veränderung des gegenseitigen Verhältnisses der beiden Grundkräfte, deren eine, die Repulsion, erregt oder vermehrt wird 1) durch Reiben oder Stoſsen, wobei die mechanische Bewegung, welche die Massen bei ihrem Aneinanderreiben verlieren, in repulsive Kraft verwandelt wird; 2) durch die Bewegung chemischer Verbindungen und 3) durch Mittheilung repulsiver Bewegung von benachbarten Körpern. Alle aus dem verschiedenen Verhalten der Wärme folgende Erscheinungen, unter denen man jedoch gerade die entscheidendste, nämlich die des latenten Wärmestoffes vermiſst, lassen sich dann leicht der Hypothese, sobald man die angenommene Bewegung als eine wirkliche, quantitativ wachsende und abnehmende Gröſse betrachtet, mithin ihr unvermerkt die Eigenheit der Materialität unterschiebt. Vorzugsweise findet

Davy die Annahme eines Wärmestoffs am absurdesten, wei
die Verpuffungen daraus erklärt werden sollen, denn namen
lich beim Schiefspulver müfsten die Wärmecapacitäten des Ka
des Azotes und der Kohlensäure geringer seyn, als die c
Kohle und des Salpeters, um die Entbindung der Wärme
erklären, da doch seine Versuche hierüber gerade das Gege
theil ergäben.

9) Allerdings giebt es verschiedene, demnächst näher
untersuchende und zu würdigende Wärmephänomene, welc
aus der Annahme eines eigenthümlichen Stoffes noch keine
wegs hinlänglich erklärt worden sind und sich einer Erkläru
aus diesem Principe auf keine Weise fügen, sobald man dal
nichts weiter, als eine Vertheilung und ein Uebergehn na
quantitativen Verhältnissen mit Rücksicht auf die verschieden
Capacitäten der Körper zum Grunde legt; allein alle die verschi
denen Phänomene aus bloſser Bewegung abzuleiten, wie dur
Davy und noch neuerdings durch Mohr[1] mit specieller u
allerdings sinnreicher Anwendung auf die einzelnen Erschei
nungen geschehen ist, heifst im Grunde nicht mehr, als etw
Unbekanntes auf ein unbekanntes, dem eigentlichen Begri
nach keineswegs genau bestimmtes Wort zurückführen. S
zuerst, wie dieses durch Davy mindestens angedeutet wird, c
Wärme eine repulsive, der Anziehung entgegenwirkende Kr
seyn, so liegen hierbei durchaus unklare Begriffe zum Grunc
Die Anziehung, deren Aeufserungen wir bei allem Materiell
wahrnehmen, ist der Materie allgemein eigen, sie ist eine i
angehörige, stets wirksame Kraft, welcher zwar entgegengewi
und die eben hierdurch geschwächt und gänzlich überwund
werden kann, die aber dennoch niemals weder zu seyn no
zu wirken aufhört, und die daher, mit Rücksicht auf ihre a
scheinende Ungleichheit bei den verschiedenen Stoffen, an si
und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit stets die nämliche, also
eigentlichen Sinne eine stetig wirkende Kraft ist. Sollte i
eine andere gleiche, aber entgegengesetzte Kraft entgegenwi

---

1 Baumgartner's und v. Holger's Zeitschr. Th. V. S. 419. A
Bordenave betrachtet die Wärme als Folge der Bewegung der K
perelemente. S. Journ. de Phys. T. IV. p. 104. Verschiedene Ande
die dieser Ansicht huldigen, liefsen sich gleichfalls noch namh
machen.

ten, so würden beide sich in der hieraus erwachsenden Differenz ausgleichen; es würde nur diese letztere bleiben, und die mannigfaltigen Veränderungen und Wechsel, die wir durch die Wärme erzeugt sehn, ständen ohne allen genügenden Grund [1], denn die Abstofsung müfste gleichfalls eine stetig wirkende Kraft seyn, und es wäre aufserdem eine *petitio principii*, die Aeufserungen derselben als durch die Empfindung wahrnehmbar anzunehmen. Abstrahirt man hiervon, und will man die Wärmephänomene auf Bewegung zurückführen, wozu wenigstens das Verhalten des Schalles und des Lichts Veranlassung geben, so wird hierbei sogleich im Eingange übersehn, dafs eine solche Bewegung nothwendig eine Ursache haben mufs, welche nach allgemeinen mechanischen Principien der Wirkung proportional seyn, aufserdem aber allmälig abnehmen und zuletzt aufhören mufs, was dann der Erfahrung zuwider einen absoluten Nullpunct der Wärme herbeiführen müfste, es sey denn, dafs man mit CARTESIUS eine von Ewigkeit gegebene und stets fortdauernde, nach dem jederzeitigen Bedürfnifs der Erklärung als vermehrt oder vermindert vorausgesetzte Bewegung annehmen wollte. Noch ungleich gröfsere Schwierigkeiten zeigen sich aber, wenn man auf Einzelnheiten eingeht. Ist vorstellbar ist, dafs die Schwingungen des Lichtäthers ein so feines Organ, wie den Gesichtsnerv afficiren und die Vibrationen fester, flüssiger oder expandirter Körper in dem Gehörorgane eine Empfindung erzeugen, dafs aber die ... gar nicht wahrnehmbare Bewegung, durch die chemische Verbindung des Wasserstoffgases mit Sauerstoffgas im Knallgebläse erzeugt, die mit so grofser Gewalt zusammenhängenden Theile des Eisens, Platins und anderer Metalle in so ... Bewegung setzen sollte, als zum Umhersprühen und ...chtigen derselben erfordert wird, ist ohne Widerrede nicht ...llbar. Ferner aber ist es offenbar nicht genügend, zur ...rung der einzelnen Phänomene sich blofs des Wortes Bewegung zu bedienen, sondern es müfste nothwendig für jedes ...dere Verhalten die eigenthümliche Art der Bewegung und ...nere Zusammenhang zwischen der speciell modificirten ...gung und der ihr zugehörigen Wirkung auf gleiche Weise ...ewiesen werden, als dieses bei den Schall- und Licht-

[1] Vergl. Art. *Abstofsung*. Bd. I. S. 120.

wellen nach der Undulationstheorie geschehn ist. Endlich ben wir für die optischen Erscheinungen ein materielles S stratum, den Lichtäther, und wollten wir für die Wärmep nomene ein ähnliches Medium annehmen, so wäre damit Existenz eines materiellen Wärmestoffes zugestanden.

10) Diese unüberwindliche Schwierigkeit haben alle di nigen gefühlt, welche sich eben deswegen gegen die Zuläs keit der Vibrationstheorie erklärten. MURRAY[1] sagt daher, Ausdehnung der Körper kann nicht durch eine oscillatori Bewegung erzeugt werden, welche bloſs wechselnde Verdi tungen und Verdünnungen voraussetzt. Ebenso wenig ist bleibende Zustand der Aggregatform der Körper, wenn diese als durch Bewegung erzeugt annehmen wollten, mit ser Ansicht vereinbar, namentlich wenn man berücksich daſs das Wasser bei seiner Verwandlung in Dampf ein 18 mal gröſseres Volumen erhält. Auch die Verbreitung der W me durch die Körper steht mit der Vibrationstheorie im V derspruche, indem hiernach ihr Fortgang durch elastische K per momentan seyn und überhaupt bei allen Körpern in nem gewissen Verhältnisse zur Elasticität derselben stehn müſ Hauptsächlich aber läſst sich die Langsamkeit ihres Fortgan in den verschiedenen Körpern auf keine Weise damit in E klang bringen, die Erscheinungen der specifischen und late Wärme nicht zu erwähnen.

11) Wie entscheidend diese Argumente auch sind, so doch auf der andern Seite nicht zu verkennen, daſs die Qu der Wärme, die bei RUMFORD's und DAVY's Versuchen du Reiben entwickelt wurde, sich auf keine Weise mit inn Wahrscheinlichkeit auffinden läſst, und alle gewiegte Physi erkennen diese groſse Schwierigkeit unverhohlen an. Wir w len statt vieler Anderer nur den gelehrten THOMAS YOU hierüber hören. Nach seiner Ansicht ist die Wärme, die du das Abschaben der wenigen Metallspahne bei RUMFORD's V suchen erzeugt wurde, so unermeſslich groſs, daſs es als u möglich erscheinen muſs, sie für einen eigentlichen Stoff halten. RUMFORD fand die Wärmecapacität der abgerieben

1 System of Chemistry. 3d ed. T. I. p. 463.

2 Lectures on natural Philosophy. Lond. 1807. 4. T. I. p. 65

Spähne nicht geringer, als die des soliden Metalls[1], angenom-
men aber, sie sey um $\frac{1}{17}$ geringer geworden (wodurch also $\frac{1}{17}$
ihrer absoluten Wärme ausgeschieden wäre), so hätte dieses
zwölftel 33000 Grade Centes., und die gesammte Wärme der
Spähne vom absoluten Nullpuncte bis zum Eispuncte ungefähr
30000 Grade betragen müssen. Dalton[2] findet diese Argu-
mentation ungenügend; der Unterschied der Wärmecapacität
sey nur, wie er meint, wegen Mangelhaftigkeit der Versuche
nicht aufgefunden worden, die Wärme habe ihren Ursprung
nicht blofs aus den Spähnen, sondern aus der gesammten Masse
des Metalls, und der absolute Nullpunct müsse weit tiefer lie-
gen, als man annehme. Young dagegen führt an, dafs 1 ℔.
Salpeter ungefähr 0,5 ℔. trockne Salpetersäure enthält, deren
specifische Wärme ungefähr halb so grofs, als die des Was-
sers ist, und 1 ℔. Salpeter enthält daher nur $\frac{1}{4}$ so viel Wärme,
als 1 ℔. Wasser. Dennoch aber fanden Lavoisier und La-
place, dafs 1 ℔. mit Kohle verbrennender Salpeter eine Hitze
erzeugte, die 12 ℔. Eis zu schmelzen vermochte, folglich
würde 1 ℔. trockne Salpetersäure 24 ℔. Eis zu schmelzen ver-
mögen. Angenommen, dafs beim Processe des Verbrennens die
entwickelten Gase nicht mehr Wärme verschluckten, als die
Kohle hergab, so folgt, dafs 1 ℔. Wasser so viele Wärme
enthalten müsse, als 48 ℔. Eis zu schmelzen erfordert werden,
d. i. 3734 Cent. Grade. Gesetzt aber, man wollte wirklich
eine solche Menge latenter Wärme in den verbrennenden Kör-
pern voraussetzen (oder den absoluten Nullpunct als so tief
liegend annehmen), so ist die Erzeugung der Wärme durch
Reiben, wobei die geriebenen Körper, namentlich in Davy's
Versuchen das Eis, keine Zersetzung oder Veränderung erlei-
den, auch dann durchaus unerklärbar. Young schliefst dem-
nach, dafs die Wärme kein materielles Etwas seyn kann, wenn
sie beim Reiben aus dem Nichts erzeugt wird; auch könne man
sie nicht für eine der Attraction entgegengesetzte repulsive
Kraft halten, weil sonst die Elasticität fester und flüssiger
Körper durch ihre Vermehrung wachsen müfste. Als mate-

[1] Bei einem Versuche wurden 4145 Gran Spähne abgerieben und
... ℔. Wasser zum Sieden gebracht.

[2] Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft.
... von Wolff. Th. I. S. 113.

rielles Wesen könne sie nicht nach allen Seiten hin ausst
len, auch müfsten ihre Theile bei der Concentration im F
einander so nahe kommen, dafs sie von der geradlinigen I
abweichen würden. Diesemnach setzt er die Wärme in Schw
gungen, ähnlich denen des Lichts und des Schalles. Die A
logie zwischen Licht und Wärme scheint ihm auch daraus
vorzugehn, dafs die ungleichen Lichtstrahlen zugleich versc
dene erwärmende Kraft haben, bis zu der Grenze hin,
welcher an die Lichtstrahlen für das Auge nicht mehr empf
bar sind, wohl aber als Wärmestrahlen noch wahrgenom
werden. Auch zwischen den Schallwellen und den Wä
strahlen findet er grofse Aehnlichkeit und geht hierin so v
dafs er meint, die Wellen, welche ein vibrirender, ins W
getauchter Schenkel einer Stimmgabel zeige, geben ein Bild
Dampfbildung.

12) So lange man sich, wie auch hier durch Young
schieht, mit allgemeinen Analogieen begnügt, läfst sich d
Hypothese aufstellen, sobald man aber die Begriffe scharf a
zufassen sucht, zeigt sie sich als ganz unhaltbar. Die Ana
gie mit dem Lichte fällt zuerst ganz weg; denn wir haben
bei allerdings Undulationen, aber eines Lichtäthers, eines ma
riellen Fluidums, und wenn wir ein solches auch den Wär
phänomenen zum Grunde legen, so ist damit der verla
Wärmestoff schon zugestanden. Die Bewegungen in
Schallwellen würde man sicher Bedenken tragen als ein A
logon der Wärmephänomene anzuführen, wenn man überle
wollte, dafs diese in nichts anderem, als in regelmäfsigen Stöf
(Pulsationen) bestehen, die im höchsten Grade verfeinert
Schlägen eines Rammklotzes gegen einen Pfahl vergleich
sind. Beide Analogieen verschwinden aber oder zeigen s
als unhaltbar, sobald man die Theorie der Wellen auf die
scheinungen der latenten Wärme anwendet, wobei ein die W
mephänomene gebendes Etwas in genauen quantitativen V
hältnissen gebunden und nach willkürlich langer Zeit wie
frei wird. Obgleich jede Welle aus einem Positiven und
nem Negativen, einem Wellenberge und Wellenthale, ei
Verdichtung und Verdünnung besteht, so ist dennoch eine
solut und allein negative Welle ein durchaus unfafslicher I
griff, und es lassen sich daher weder die Erscheinungen
Wärme, noch auch die der *Elektricität* und des *Magnetism*

af blofse Wellenbewegung, ohne materielles Substrat, zurückführen; die beiden letzteren Potenzen schon deswegen nicht, weil sie aus einem Positiven und einem Negativen (des vorhandenen Gegensatzes wegen) bestehn, deren jedes wieder Wellenberge und Wellenthaler erfordern würde. Das Aufhören der Wellenbewegung bedingt nothwendig das Aufhörten der Erscheinungen, wie dieses auch beim Schalle und beim Lichte der Fall ist, das Aufhören der hypothetischen Wärmevibrationen müfste daher den Eintritt des absoluten Nullpunctes zur Folge haben, die bleibende Ausdehnung der Körper bei mittleren Temperaturen müfste daher aus ewig dauernden Vibrationen erklärt werden, die Bindung der Wärme wäre dann die Verminderung dieser Vibrationen mit Aenderung des Aggregatzustandes der Körper, wofür weder die Licht- noch die Schallwellen ein Analogon darbieten; aber dafs demnächst nach willkürlichen Zeiträumen die Vibrationen mit mefsbar gleichen quantitativen Gröfsen wieder zum Vorschein kommen sollten, das ist schwerlich überall vorstellbar.

13) Gegen diese, in der That unüberwindlichen Schwierigkeiten müssen diejenigen als verschwindend erscheinen, welche aus der allerdings räthselhaften Erzeugung der Wärme durch Reibung hervorgehn, obgleich noch niemand die eigentliche Quelle derselben genügend nachzuweisen vermochte. William Henry[1] hat es übernommen, die aus der Wärmeerzeugung durch Reiben abgeleiteten Argumente gegen einen materiellen Wärmestoff zu widerlegen. Zuerst findet er den Beweis unzulässig, dafs bei Davy's Versuchen zu der im Vacuum geriebenen Scheibe keine Wärme von aufsen zugeführt worden sey, denn dieselbe könne auch den leeren Raum durchdringen und demjenigen Körper zugeführt werden, der zu ihrer Aufnahme disponirt sey. Bei Rumford's Versuchen war der Bohrer mit Wasser umgeben und alle Luft abgehalten; die Wärme konnte also nur durch den Bohrer zugeführt werden. Eine Ungereimtheit will Henry darin nicht finden, dafs ein Körper zugleich Wärme anziehe und wieder abgebe, wie in beiden Versuchsreihen der Fall war; allein dafs ein solches Verhalten, wenn auch nicht absolut unzulässig, doch auf jeden Fall nicht

[1] Mem. of the Society of Manchester. T. V. P. 2. Lond.

ungezwungen vorstellbar sey, unterliegt wohl keinem Zwe-
Dafs die Wärme nicht aus den geriebenen Körpern entstan
sey, folgerte DAVY aus dem Schmelzen geriebener Eisstü-
indem diese sonst so viele Wärme hätten verlieren müssen,
aus ihnen entbunden wurde, RUMFORD aber fand, dafs
specifische Wärme abgeschabter Metalltheile der des massi
Metalls gleich sey, und auch diese konnten daher die erzeu
Wärme nicht abgeben. Die Einwendungen, welche HE
hiergegen macht, können nur dazu dienen, die Argumente
schwächen, keineswegs aber sie ganz zu entkräften. Es l
sich allerdings dagegen anführen, dafs unsere Thermometer
die relativen, keineswegs aber die absoluten Wärmemengen
geben, und dafs wir zwar Mittel zur Bestimmung der versch
denen Wärmecapacitäten und zur Nachweisung des Latentw
dens der Wärme haben, aber keine, die zur Ausmittelung
absoluten Wärmemengen genügen, wodurch dann allerdings
Schlufs, es könne eine so bedeutende Menge Wärme du
Reiben aus den Körpern nicht entbunden werden, wankend
macht wird. Allein es läfst sich dennoch nicht verkenn
dafs die Auffindung der eigentlichen Quelle, die unaufhörl
bei fortgesetztem Reiben eine so prodigiös scheinende Wärm
menge hergiebt, und die Nachweisung der Aetiologie einer s
chen Production im höchsten Grade schwierig ist, sobald n
nach der Hypothese eines materiellen Wärmestoffes blofs
Quantitative desselben berücksichtigt.

Dagegen erklärt sich HENRY als Anhänger eines materi
len Wärmestoffes aus mehreren, nach seiner Ansicht entsch
denden Gründen. Zuerst erweitert die Wärme den Raum a
derer Körper und mufs daher selbst einen Raum einnehm
oder ausgedehnt seyn, woraus dann ihre Undurchdringlichk
von selbst folgt. Ein Gewicht derselben ist zwar durch
Versuche von BUFFON, WHITEHURST, FORDYCE, PICTET u
RUMFORD nicht gefunden worden, aber damit die Nichtmateria
tät derselben ebenso wenig erwiesen, als für den Lichtstoff du
ein gleiches Verhalten desselben. Auf jeden Fall zeigt zweit
die Wärme chemische Wirkungen und mufs daher mater
seyn. 1) Die charakteristischen Kennzeichen der Wärme v
schwinden, sobald sie Formänderung in andern Körpern h
vorgebracht hat. 2) Hierbei ist eine gewisse Wahlverwan
schaft unverkennbar, indem sich in hoher Temperatur

Wärme nur mit dem einen Antheile der Metalloxyde verbindet
nd diesen abscheidet, auch bei einigen Stoffen frei, bei an-
en gebunden wird. 3) Bei einigen Stoffen wirkt die Wärme
rch doppelte Wahlverwandtschaft, z. B. bei der Zersetzung
s Wassers durch Eisen. 4) Die Wärme dient zuweilen als
eignungsmittel, z. B. bei der Verbindung des Kohlenstoffs
t Sauerstoff, die nur in grofser Hitze erfolgt. Henry sucht
n zugleich darzuthun, dafs die Capacität der Wärme nach
awford's Theorie von ihrer Verwandtschaft verschieden
, wie aus der Dampfbildung aus Aether hervorgeht, indem
diese auf die chemische Affinität der Wärme zum Aether
ckführt, die daher so stark verschluckt wird, dafs dadurch
chtliche Erkältung entsteht. Somit hat also die Wärme
Qualitäten der Materie, aufser der Schwere, und wir sind
r berechtigt, sie für eine Materie eigenthümlicher Art zu
n. Hierfür entscheidet namentlich auch der Umstand, dafs
gung ohne etwas Materielles unstatthaft ist, und da nach
ord die Wärme durch die Torricelli'sche Leere dringt, in
er nichts vorhanden ist, was die Wärme fortpflanzen
e, so mufs die Wärme selbst etwas Materielles seyn.

Wären hierbei die Prämissen vollständig begründet, dafs
ärme den leeren Raum wirklich durchdringt, in der Tor-
schen Leere aber überall nichts Materielles vorhanden ist,
wäre dieses Argument unwiderleglich begründet; allein
tlich die Abwesenheit aller Materie in der Torricelli'schen
dürfte mit siegreichen Waffen angegriffen werden und
lem könnten die Gegner sich durch die Annahme helfen,
ie den leeren Raum einschliefsende Hülle die Bewegung
nze. Wir werden auf diesen Gegenstand später wieder
kommen.

)) Berthollet[1], durch die vielen Gründe für einen
llen Wärmestoff bewogen, erklärt sich gegen Rumford's
ngen und leitet die erzeugte Wärme aus der Compres-
r geriebenen Körper ab, ohne jedoch die Resultate der
mitgetheilten, dieses sehr unwahrscheinlich machenden
nung gehörig zu widerlegen. Einen schätzbaren Beitrag
Untersuchungen über Wärmeentbindung durch Reiben

Statique chimique. T. I. p. 247.

hat aber HALDAT[1] geliefert, welcher verschiedene Metalle ungleichen Geschwindigkeiten, mit gröſserem und geringe Drucke, mit rauher und glatter Oberfläche, mehr oder wen gegen Wärmeleitung geschützt, auch elektrisch isolirt oder tend mit der Erde verbunden, an einander rieb. Die Hau resultate, welche aus zehn Versuchen hervorgehn, wodu allerdings die eigentliche Aufgabe nicht gelöst wurde, sind ſser der Bestätigung der unerwartet groſsen, durch Reiben zeugten Menge von Wärme hauptsächlich folgende. Die Qu tität der Wärme hängt nicht von der Dichtigkeit der Kö ab; denn Blei gab nicht mehr Wärme, als Kupfer, und b Metalle gaben weniger als Zink. Die Rauhheit der gerieb Fläche zeigte keinen vermehrenden Einfluſs, vielmehr war erzeugte Wärmemenge in einem Versuche, wobei der reib Körper nach Art einer Feile eingeschnitten wurde und Spä abrieb, um die Hälfte geringer, als wenn dieselben Fläc bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Drucke, anfäng glatt durch das Reiben selbst Politur erhielten. Hieraus man mit Recht folgern, daſs die in RUMFORD's Versuchen geriebenen Spähne die erzeugte Wärme nicht hergaben. Du Vermehrung des Druckes wuchs dagegen die Menge der l vorgebrachten Wärme bedeutend, denn in zwei übrigens g chen Experimenten erzeugte der Druck von 40 Kilogram 6mal so viel Wärme, als von 10 Kilogrammen[2]. Hie scheint hervorzugehn, daſs die Wärme aus den Körpern du Compression derselben ausgeschieden werde, allein hierge streitet das Resultat eines Versuches, in welchem ein Met draht durch starke Hammerschläge Bandform erhielt. Sein s cifisches Gewicht war dadurch nicht so viel verändert, d die hydrostatische Waage den Unterschied anzeigte, doch e schieden seine vermehrte Elasticität und Sprödigkeit für v gröſserte Dichtigkeit, allein die dadurch erzeugte Wärmemen soweit der Versuch eine meſsbare Vergleichung gestattete, v geringer als die durch Reibung hervorgerufene. Dieses Res tat findet HALDAT nicht mit Unrecht so bedeutend, daſs

---

1 Journal de Phys. T. LXV. p. 213.

2 Es wäre wohl der Mühe werth, durch neue Versuche di Art des Verhältniſs des vermehrten Druckes zu den erzeugten W memengen auszumitteln.

heint, man könne kaum umhin, der Hypothese Rumford's erpflichten, wenn nicht die Argumente für einen materiellen Värmestoff allzugewichtig wären, weswegen eine endliche Entheidung der eigentlichen Frage noch zur Zeit, und bis neue ersuche die Summe der Thatsachen vermehrten, unzulässig sey. Volle man die Wärme aus der Compression ableiten, so bleibe dunl, warum geriebene elastische Metalle, z. B. Zink, bei ihrer Wiederausdehnung nicht gleiche Quantitäten Wärme verschluckten. Würde die Wärme durch Reiben ausgeschieden, so sey damit noch nicht ausgemacht, ob sie aus den geriebenen oder aus den umgebenden Körpern ihren Ursprung erhalte. Im ersten Falle müfste der Dichtigkeit umgekehrt proportional seyn (?) und sich schöpfen; im zweiten müfste die leichtere Zuleitung einen Einfluſs ausüben, was jedoch gegen seine eigenen und früheren Versuche streite. Wolle man aber die Wärme in Vibrationen suchen, so müfste ihre Menge durch Contraction abnehmen, und sich vorzüglich ein gewisses Verhältnis zur Dichtigkeit und hauptsächlich zur Elasticität der geriebenen Metalle zeigen. Sonach genüge weder die eine noch andere Hypothese, um die obwaltenden Zweifel zu lösen.

5) Die bisher genannten Anhänger der Undulationstheorie werfen jede Art der Materialität des Wärmestoffes, indem ch das Vorhandenseyn eines die Erscheinungen erzeugenund bedingenden Aethers in Abrede stellen. Hiernach sie eigentlich die Phänomene der Wärme nicht mit des Lichts in Parallele stellen, indem diese letzteren von Undulationen eines unleugbar materiellen Lichtathers ab-, sondern sie könnten allein mit denen des Schalles chen werden. Zu den Vertheidigern dieser Ansicht, wolso die Wärmeerscheinungen bloſs aus Bewegungen der Körper bestehn, bei denen dieselben wahrgenommen, gehört auch Paulsen[1], welcher das gesammte Verhal- Wärme auf ursprüngliche oder mitgetheilte Bewegung örpertheilchen zurückführt, jedoch mit minder scharfer ung der Thatsachen, als diese durch Mohr mitgetheilt ie oben bereits erwähnt wurde. Es scheint mir daher weniger geeignet, die von ihm gegen die Materialität der

---

[1] De caloris theoria, qua vibrationis vel motus systema contra materiale defenditur. Gott. 1821.

Wärme aufgestellten und für die von ihm vertheidigte Ans… beigebrachten Gründe hier einzeln zu prüfen, weil das Ga… darauf hinausläuft, der Wärme die Materialität abzusprech… weil ihr die Schwere, Ausdehnung und Undurchdringlich… fehlt, die Ursache der Wärmephänomene dagegen in eine… genthümliche Bewegung der Körpertheile zu setzen und di… Bewegung nach der Verschiedenheit der Wärmephänom… verschieden modificirt zu nennen. Wesentlich verschieden … dieser Hypothese ist eine ihr insofern ähnliche, als d… gleichfalls die Materialität der Wärme in Abrede gestellt w… Nach Wünsch[1] soll es eine *positive* Wärme geben, die … einer positiv oscillirenden Ausdehnung der Körpertheilchen … ruht, so wie eine *negative*, die nichts weiter als eine osci… rende Zusammenziehung der sinnlich wahrnehmbaren Mat… seyn soll. Um dieses zu begreifen, soll man nur den Satz … Augen haben, dafs die bald gröfsere, bald kleinere Ausdehn… der in mancherlei Art verschiedenen Materien, welche zu ein… lei Wärmeenergie gehört, von der bald stärkeren, bald sch… cheren Cohäsion und Gravitation ihrer Theile abhängt; al… dafs die Cohäsion der Ausdehnung direct oder umgekehrt p… portional seyn solle, streitet gegen die Erfahrung, und … Verschiedenheit der Gravitation gegen den erwiesenen Satz, … alle Materie gleich schwer ist.

16) Es läfst sich sehr sachgemäfs eine Theorie hier … reihen, welche gleichfalls Undulationen annimmt, aber mo… cirte, und diese genauer bestimmt, ohne sich mit der blo… Bezeichnung der Phänomene durch das Wort Bewegung … begnügen. Ampère gab diese Hypothese zuerst in ihren all… meineren Umrissen[2], führte sie aber nachher weiter a… Hiernach erklärt er sich dahin, dafs zuerst die sogenannte str… lende Wärme sich in ihrem Verhalten dem des Lichtes g… gleich zeige und daher auch auf ähnliche Vibrationen zurü… geführt werden könne, dafs aber ein merklicher Untersch… hervortrete, wenn die Wärme von dem heifsern Ende e… Körpers sich an das kältere begebe, denn statt einer Well… bewegung, wobei die undulirende Flüssigkeit im Augenb…

1 G. XXVI. 337.

2 Bibliothèque univ. 1832. T. XLIX. p. 225.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. LVIII. p. 432. Lond. and E… Phil. Mag. N. XLI. p. 342.

des Fortschreitens der Welle unbewegt bleibe, habe man eine gradatim fortschreitende Bewegung, indem die ursprünglich heißere Stelle zwar erkalte, aber stets wärmer bleibe, als die Theile, denen sie Wärme mittheile. Weil jedoch ein Körper, an der einen Stelle durch die Sonnenstrahlen erhitzt, seine Wärme den übrigen Theilen zuführe, so könne man das Licht und die Wärme dieser Strahlen nicht aus Wellenbewegungen deuten, ohne zuzugestehn, dafs auch die Verbreitung der Wärme im Körper durch Undulationen geschehe; ein Schlufs, dessen ...ingkeit nicht sofort einleuchten dürfte. Ampère unterschei... was auch im Allgemeinen wichtig ist, bisher aber noch keineswegs ausgebreiteten Beifall gefunden hat, rücksichtlich der Zusammensetzung der Körper *Partikeln*, *Molecüle* und *Atome*. ... Theilchen (particules) haben ihrer Kleinheit ungeach... die Aggregatform der Körper, zu denen sie gehören, sind ... starr, tropfbar-flüssig oder gasförmig, und bestehn aus Mo... ...len, die in gewissen Abständen von einander gehalten wer... : 1) durch die den Atomen eigenthümlichen attractiven ... repulsiven Kräfte, sofern sie ihre Wirkung bis zu derjeni... Entfernung erstrecken, in welcher die Molecüle zu Parti...en vereinigt sind, 2) durch die Repulsion, welche die ...tionen des zwischen den Partikelchen befindlichen Aethers ...gen, und 3) durch die der Materie eigenthümliche At...on. Die Molecüle sind dann ferner eine Verbindung von ...en und werden durch die den Atomen eigenthümlichen ...tiven und repulsiven Kräfte zusammengehalten. Letztere ...so überwiegend stark, dafs dagegen die der Molecüle als ...unmerklich erscheinen können. Atome endlich sind ma...e, mit attractiven und repulsiven Kräften versehene Puncte. ...us folgt, dafs die Molecüle ihrem Wesen nach fest sind, ...uch die Aggregatform des Körpers seyn mag, wozu sie ...en, und dafs sie Polyeder bilden, an deren Spitzen sich ... oder eine gewisse Anzahl Atome befinden und welche von ...Krystallographen primitive Gestalten der Körper genannt ...n. Der Uebergang der Körper in den verschiedenen Ag...zustand besteht in weiter nichts, als in einem verschie... Abstande ihrer Molecüle von einander, wobei ihre anzie...n und abstofsenden Kräfte zum Gleichgewicht kommen, ... Uebergange zur Festigkeit aus dem tropfbar-flüssigen Zu... ... vereinigen sich jedoch mehrere Molecüle zu zusammen-

gesetzteren. Durch mechanische Mittel können bloſs die P tikeln getrennt werden, die aus den Vibrationen der Ato entstehende Kraft vermag die zusammengesetztern Molec eines festen Körpers in einfachere, wie sie in tropfbar-flüssi und gasförmigen Körpern vorhanden sind, zu zerlegen und chemischen Kräfte vermögen auch diese letztern zu trenne Daſs die Atome keiner weitern Theilung fähig sind, liegt der Natur der Sache.

Ampère unterscheidet dann Vibrationen der Molecüle der Atome. Die erstern bestehen aus Näherungen und Entfern gen der Molecüle, die letztern finden ohne Unterbrechung st indem die Atome sich stets abwechselnd einander nähern von einander entfernen, ohne aufzuhören, dem nämlichen M lecüle anzugehören. Zu den erstern gehören die Schallschw gungen, die letztern erzeugen für sich und vermöge ihrer Fo pflanzung durch den Aether die Erscheinungen des Lichts der Wärme. Da keine Vibrationen ohne den Zustand stabilen Gleichgewichts zwischen anziehenden und abstoſsen Kräften statt finden können, so setzen die Vibrationen Atome diese gleichfalls voraus, und zugleich muſs bei veränc tem Abstande die Repulsivkraft schneller wachsen und abn men, als die Attractivkraft; auch könnten beide Kräfte als einzige gedacht werden, deren mathematischer Ausdruck gegengesetzte Zeichen haben müſste. Besteht aber die Wä aus solchen Vibrationen der Atome, so kann sie nicht mit hierzu nothwendigen Repulsivkraft identisch seyn.

17) Wie man auch diese Theorie eines berühmten lehrten würdigen mag, so steht ihr auf jeden Fall entge daſs sie durchaus willkürlich ist und einer ursprünglich fe Basis ermangelt. Eben diese Willkür in Aufstellung n Hülfshypothesen gewahrt man auch bei den Anwendungen c selben auf die einzelnen Phänomene. Da die Wärme in Körpern stets vorhanden ist, so müſste man schon im vor eine von Ewigkeit her bestehende unausgesetzte Bewegung tuiren, ohne daſs die beiden Kräfte sich jemals zu einer ruh

1 Dieser Satz hängt mit einem anderweitig bekannten, aber von Ampère in Ann. des Mines 1814 aufgestellten zusammen, nämlich in gleichen Volumen verschiedener Gasarten unter glei Druck und bei gleicher Temperatur gleiche Mengen von Molec enthalten sind.

den Mittelkraft vereinigten, wozu wir in der Natur kein Ana-
logon finden. AMPÈRE nimmt dann zweierlei Vibrationen an,
zuerst wenn die (dunkle) Wärme sich in den Körpern bewegt,
und zweitens die strahlende Wärme, welche nach seiner Mei-
nung nicht vom Lichte unterscheidbar ist, indem das Licht aus
so häufigen und intensiven Wellen besteht, dafs diese die Feuch-
tigkeiten des Auges zu durchdringen vermögen, so wie die
Wärme der Glühhitze solche Körper, als Wasser, Glas u. s. w.,
durchdringt, die für die dunkle Wärme undurchdringlich sind.
Wir werden noch öfter Gelegenheit haben, auf das Verhältnifs
zwischen Licht und Wärme zurückzukommen, welche nament-
lich auch BIOT dem Wesen nach für identisch hält, wollen
aber hier nur vorläufig bemerken, dafs auch die dunkle Wärme
strahlt, der Unterschied der Intensität zwischen Weifsglühhitze
und dunkler Wärme aber bei weitem so grofs nicht ist, als
zwischen dem hellsten Sonnenlichte und dem schwächsten,
dem in völliger Dunkelheit sehr reizbaren Auge noch wahr-
nehmbaren Scheine phosphorescirender Körper, und dennoch
hat das Licht in allen seinen Abstufungen die nämlichen, blofs
der Intensität verschiedenen Eigenschaften, so dafs man nicht
wohl begreift, wie die Wärme, zuerst mit Licht identisch,
ohne nachweisbaren Grund in ein anderes Wesen von durch-
aus verschiedenem Verhalten übergehen sollte. AMPÈRE ver-
gleicht übrigens das verschiedene Verhalten der Wärmewellen
mit dem des Schalles, wobei dem Wesen nach die Wellen der
strahlenden Wärme denen des Schalles ganz ähnlich, die der
in Körpern fortgehenden aber solchen Schallwellen ähnlich seyn
sollen, die entstehen würden, wenn die Vibrationen mehrerer
sehr nahe bei einander befindlicher und auch wohl in eine
Hülle eingeschlossener tönender Körper sich wechselseitig be-
gegnen und durch die eingeschlossene Hülle bedingt würden.

28) Die Hypothesen der eigentlich so genannten *Natur-
philosophen*, wie sie in den beiden ersten Decennien dieses
Jahrhunderts aufgestellt wurden, übergehe ich mit Stillschwei-
gen, weil sie in allzu allgemeinen Ausdrücken abgefafst sind,
als dafs sie den Erscheinungen im Einzelnen genau angepafst
und hierdurch geprüft werden könnten; Erwähnung verdient
jedoch eine Ansicht, welche aus einigen Lehrsätzen KANT's
entnommen eine geraume Zeit lang viele Anhänger erhielt.
Der mit Recht gefeierte Königsberger Philosoph glaubte bewie-

sen zu haben[1], dafs die Materie selbst, und zwar ihrem Wes… nach und in Beziehung auf ihre Existenz, durch zwei Kräft… die Dehnkraft und Ziehkraft, bedingt, gleichsam erst gegeb… werde. Aufser dem Aufsehen, welches diese neue Lehre … den Physikern erregte, mochte wohl die sofort nachfolge… Bekanntwerdung der erwähnten Versuche RUMFORD's … DAVY's dazu mitwirken, die bis dahin ziemlich allgemein h… schende Ansicht von der Materialität der Wärme und des L… tes in Zweifel zu ziehn, und da der Reformator der bis d… gangbar gewesenen philosophischen Systeme von den spec… tiven Philosophen so allgemein gepriesen wurde, die gleich… wetteiferten, sich in ihrem Lobe zu überbieten, so glau… viele, namentlich jüngere Physiker, durch Auffindung der bei… entgegenwirkenden Grundkräfte sey die schwierige Auf… über das Wesen der Materie und die letzten Gründe aller … scheinungen in der Körperwelt endlich gelöset; wobei jed… nicht zu übersehen ist, dafs diese Ansicht blofs in Deutschl… Vertreter fand. Es würde überflüssig seyn, die grofse … der Anhänger dieser sogenannten *dynamischen Theorie* … Naturerscheinungen aufzuzählen, und es wird daher genü… nur F. HILDEBRANDT[2] zu nennen, welcher diese Hypot… auf die gesammte Naturlehre anzuwenden versuchte. Hiern… existirt keine materielle Grundlage weder des Lichts noch … Wärme, sondern „die Dehnkraft, welche in ihrem freien … „stande uns als Licht erscheint, kann, in der Sphäre ihrer V… „breitung Körper antreffend, von der Materie aufgehalten … „angenommen werden, mit ihr sich verbinden und an ihr h… „ten. In diesem Zustande bewirkt sie das, welches wir Wär… „nennen. Die Wärme ist demnach die an der Materie sch… „haftende Dehnkraft, in ihrem Ursprunge mit dem Lic… „identisch, aber in ihrem Zustande von dem Lichte wesentl… „verschieden."

Es ist in der That unbegreiflich, wie die deutschen Ph… siker, bei ihren sonst nicht unbegründeten Ansprüchen auf d… Credit des Scharfsinns, sich eine so auffallende *petitio princip…*

---

1 Vergl. Art. *Materie*. Bd. VI. S. 1410.

2 Anfangsgründe der dynamischen Naturlehre. Erlang. 1807. … Speciell S. 533. Vergl. ALEX. NICOL. SCHERER Bemerkungen über di… Natur des Wärme- und Lichtstoffs. In: Nachträge zu den Grundzü… gen der neuern chem. Theorie. Jena 1796. 8.

erlauben und eine Kraft ohne materielles Substratum, eine reine Dehnkraft, die im Lichte sich als bewegend zeigen sollte, in das Gebiet der Naturlehre einführen, das Wesen der Wärme aber in eine Verbindung dieser reinen Kraft mit der Materie setzen konnten, ohne nach dem Grunde und den Gesetzen dieser Verbindung zu fragen, gleichsam als sey es nur ein Act willkürlicher Laune, entweder der Dehnkraft, sich mit der Materie, oder der letzteren, sich mit der ersteren zu verbinden. Inzwischen wuchsen auf diesem Felde einer allzufreien Speculation die vielen auf ein Wechselspiel willkürlich angenommener Kräfte gegründeten Hypothesen namentlich über das Wesen der sogenannten unwägbaren Potenzen, von denen blofs Oersted's[1] Theorie der Wärme hier erwähnt werden möge. Dieser durch seine glänzende Entdeckung des Elektromagnetismus später so berühmt gewordene Gelehrte glaubte, dafs Winterl's Speculationen zur Enthüllung der verborgenen Naturgeheimnisse führen könnten, und versuchte es daher, die gegebenen Andeutungen weiter zu entwickeln. Hiernach nahm er statt der bis dahin so hoch gestellten Kantischen Grundkräfte[2] zwei andere an, die *Brennkraft* und *Zündkraft*, die sich einander aufheben und daher entgegengesetzt seyn sollten. Diese betrachtete er als die letzten chemischen und selbst auch mechanischen Kräfte, mithin als die *allgemeinen Grundkräfte* der Körperwelt. Mit besonderer Rücksicht auf die elektrische Leitungsfähigkeit der Körper, und von dem, vermittelst Kinnersley's sogenannten Thermometers früher durch die englischen Physiker aufgenommenen, nach neuern Versuchen wohl noch zweifelhaften, Gesetze ausgehend, dafs die Elektricität in Körpern, welche sie vollkommen leiten, gar keine Wärme entwickele, betrachtet er die Wärme als einen innern Wechselkampf der entgegengesetzten Kräfte, indem sie nur dann hervortritt, wenn das Gleichgewicht in jedem Puncte des Körpers gestört ist, aber so, dafs es zu keiner sinnlich erkennbaren Trennung der Kräfte ge-

1 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berl. 1812. 8. S. 81. 114. *Elektricität* Bd. III. S. 369. G. LXXII. 139.

2 Schon früher als Kant betrachtete Knight die *Dehnkraft* und *Anziehungskraft* als allen Erscheinungen der Körperwelt zum Grunde liegend in seinem Werke: Attempt to demonstrate, that all the phenomena in nature may be explained by two simple principles, attraction and repulsion. Lond. 1748.

kommen ist. Diese Kräfte müssen aber die eigentlichen Grundkräfte der körperlichen Natur ausmachen, weil sie unerschöpflich sind, sofern die Fähigkeit, durch Vertheilung Elektricität zu erhalten und zu leiten, so wie auch durch Stoſs und Druck Wärme zu entwickeln, ohne Aufhören fortdauert.

19) Aus diesen, in solcher Allgemeinheit und Unbestimmtheit aufgestellten Kräften lassen sich dann leicht die einzelnen Wirkungen der Wärme, daſs sie ausdehnt, allen Körpern eigen ist, fortgeleitet wird, den Zustand der Flüssigkeit und Dampfform erzeugt, durch chemische Verbindungen frei wird u. s. w. ableiten, was jedoch im Einzelnen hier mitzutheilen zweckwidrig seyn würde. Zur Begründung und Erläuterung führt Oersted Thatsachen an, die bei dem unermeſslichen vorhandenen Schatze aufzufinden einem so kenntniſsreichen Gelehrten nicht schwer werden konnte. Gegenwärtig hat sich inzwischen der Zustand der gesammten Naturforschung so wesentlich geändert, namentlich wohl, mindestens vorzugsweise, durch Auffindung der optischen Gesetze, daſs es keiner ausführlichen Widerlegung dieser Theorie bedarf. Kaum einige Aufmerksamkeit aber verdienen einige sonstige Hypothesen, von denen es wohl nicht zu hart geurtheilt ist, wenn man sagt, daſs sie auf bloſsen Worten ohne scharf bestimmten Sinn beruhn. Dahin gehört die durch v. Arnim[1] aufgestellte, wonach die Wärme bloſse Ausdehnung seyn soll, so wie die von Bunzen[2], welcher die Wärme durch Vereinigung eines Positiven und Negativen entstehen läſst und für nichts anderes als einen Indifferenzprocess hält, endlich hauptsächlich die kaum zu entziffernden Aeuſserungen Sertürner's[3].

Bei weitem die meisten und man darf wohl sagen die gewiegtesten Physiker nehmen einen materiellen, obwohl höchst feinen, ätherischen Wärmestoff an, welcher in gewissen quantitativen Verhältnissen in den Körpern vorhanden ist und durch diese seine bloſse Anwesenheit, auſserdem aber durch seinen Uebergang von einem Körper zum andern, die bekannten Wärmeerscheinungen hervorbringt, die man aus dieser Hypothese erklaren und groſsentheils durch mathematische Ausdrücke sch

1 G. V. 57. Dessen Theorie d. el. Erscheinungen. S. 93.

2 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenh. 1805. S. 1 G. XXV. 147.

3 G. LXIV. 80.

zu bestimmen gesucht hat. Schon die Annahme eines absoluten Nullpunctes zur Bezeichnung der Abwesenheit aller Wärme ist, genau genommen, nur mit dieser Hypothese verträglich, sofern dabei ein gewisses Quantitatives als statt findend vorausgesetzt wird. Unter den vielen Autoritäten nur die wichtigsten zu nennen würde überflüssig seyn, da sie bei den später zu erörternden, ganz auf diese Hypothese gebauten, Untersuchungen vorkommen müssen. Es wird daher genügen, bloß einige Hauptmomente zu bezeichnen.

20) Die Anhänger der Hypothese eines vorhandenen Wärmestoffes lassen sich füglich in zwei Classen theilen. Einige derselben, deren Zahl und Gewicht keineswegs gering ist, halten die Wärme für modificirtes Licht und müssen daher, sofern man gegenwärtig die Undulationstheorie in der Optik für genugsam begründet ansehn darf, annehmen, dafs der überall verbreitete Lichtäther eine solche Modification erleide, vermöge welcher er die Wärmephänomene hervorzurufen vermag. Da das Licht allerdings die bedeutendste Quelle der Wärme ist, wenn letztere allezeit durch ersteres hervorgerufen wird, so ist die Frage über Identität oder Verschiedenheit beider offenbar mit der Untersuchung der Art, wie die Wärme durch Licht erzeugt wird, und des Verhältnisses beider gegen einander zusammen, weswegen es am zweckmäfsigsten scheint, diese Aufgabe bis dahin zu verschieben, wo diese Frage zur nähern Untersuchung kommt. Andere, gleichfalls nicht wenige und gewichtige Physiker halten die Wärme für ein Wesen eigner Art, welches zwar an sich und in seinem Verhalten Aehnlichkeit mit dem Lichte hat, aber keineswegs eine so grofse und auffallende, dafs man eine blofse Modification annehmen dürfte. Diese letztere Ansicht wollen wir hier etwas näher untersuchen.

21) Gegen die erwähnte Hypothese, wonach die Wärme eine blofse Kraft oder das Resultat gewisser Vibrationen der Aether und Körpertheilchen seyn soll, hat sich vorzüglich J. T. Mayer[1] erklärt. Dem damals sehr allgemein aufgestellten Einwurfe gegen Materialität des Wärmestoffes, dafs demselben die Schwere fehle, setzt er das Argument entgegen, dafs diese Eigenschaft noch gar nicht als eine nothwendige Bedingung

[1] Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. ad A. MDCCC—III. Vol. XV.

der Materie nachgewiesen sey, indem es so feine Stoffe ge
könne, deren Gravitation sich nicht nachweisen lasse. Auf
dem sey die Wärme überall vorhanden und daher eine V
gung unmöglich, weil diese in einem absolut wärmele
Raume geschehn müsse. Die Versuche des Grafen RUMF
hätten zwar allerdings einen grofsen Schein, allein da si
umgebender Luft und in Verbindung mit Körpern anges
wurden, in denen Wärmestoff vorhanden war, so könne
annehmen, dafs die geriebenen Körper aus dieser unersch
lichen Quelle stets aufs Neue die nöthige Wärme entnom
hätten und daher selbst als unerschöpfliche Wärmequellen
schienen wären. Hiernach müsse man also annehmen, dafs
Wärme in den geriebenen Körpern blofs frei gemacht, der
gang aber sofort aus der unerschöpflichen Menge der umgeb
den Körper durch eine gewisse Attractivkraft wieder ersetzt wor
sey. Auf ähnliche Weise ändere sich die specifische Wä
der Körper nur unbedeutend, wenn sie nicht in einen and
Aggregatzustand übergingen, in welchem Falle sie eine Me
Wärme anzögen, die in ihnen gleichsam verschwände[1].
Freiwerden der Wärme durch mechanische Mittel und
gleichzeitige Aufnehmen derselben in Folge eines, dem che
schen ähnlichen, Anziehungsprocesses findet MAYER ni
schwer zu erklären. Gegen die Undulationstheorie der Wä
findet er einzuwenden, dafs die Anhänger derselben die eige
liche Beschaffenheit der angenommenen Vibrationen, und
welche Weise die verschiedenen Erscheinungen der Wä
aus ihnen hervorgehen müssen, nirgends deutlich und bestim
angeben. Insbesondere zeige sich ein auffallender Untersch
zwischen der Mittheilung einer Bewegung und dem Ueberga
der Wärme. Ein schallender Körper verliere keineswegs d
jenige Bewegung, welche er den umgebenden Körpern mitthe
sondern komme durch die in ihm selbst befindlichen Hind
nisse allmälig zur Ruhe, statt dafs die abgegebene Wä
quantitativ der aufgenommenen gleich sey. Wolle man
Unterschied der Schallschwingungen von denen, welche Wä

1 MAYER und mehrere ältere Physiker finden ein ähnliches V
halten bei der Elektricität, die durch Reiben stets erzeugt aus
Erde wieder ersetzt werden soll; allein die elektrischen Phänom
beruhen bekanntlich nur auf einer Zerlegung des O E in seine bei
Potenzen + E und — E und auf einer Wiedervereinigung dieser.

erregen sollen, darein setzen, dafs die letzteren den kleinsten Theilchen der Körper zugehörten, so kämen wir wieder zu den Hypothesen des CARTESIUS zurück, wonach die verschiedenen Qualitäten der Körper aus verschiedenen Bewegungen der Elemente erster, zweiter und dritter Ordnung erklärt werden. Wie sehr dagegen die Hypothese von einem materiellen Wärmestoffe den Erscheinungen angemessen sey, zeige besonders die Anwendung derselben auf die Gesetze der Wärmeleitung, wovon später die Rede seyn wird.

22) PREVOST[1], welcher viel im Gebiete der Wärmelehre gearbeitet hat, nimmt einen Wärmestoff (Calorique) an, und denkt sich denselben als eine sehr feine Flüssigkeit, deren Elemente stets in entgegengesetzter Bewegung sind. Nach ihm ist es dann nicht sowohl diese Flüssigkeit selbst, als vielmehr die Verschiedenartigkeit der Bewegung, woraus die einzelnen Erscheinungen erklärbar werden, namentlich die sogenannte Wärmestrahlung[2]. Es wäre nicht die Mühe lohnend, die vielen Versuche und Schlüsse hier zu wiederholen, welche er in einer ausführlichen Abhandlung[3] zusammengestellt hat, um die Materialität des Wärmestoffs darzuthun, da so viele seiner Behauptungen gegen anerkannte Naturgesetze streiten. Auch HARE[4] beschränkt sich, so wie URE[5], blofs auf die bekannten Beweise, und im Ganzen ist dieses auch der Fall bei den ausführlichen Untersuchungen, welche SOCQUET[6] dieser Frage gewidmet hat, jedoch führen ihn diese zu dem Resultate, den Wärmestoff für eine eigenthümliche Materie zu halten, welche den Attractionsgesetzen folgt, aus welcher dann die meisten Aeufserungen derselben von ihm abgeleitet werden. HARE macht namentlich das Argument geltend, dafs die Bewegung zweier Massen nach dem Stofse $C' = \frac{MC + mc}{M + m}$

---

1 Recherches sur la Chaleur. Genève 1792. 8. Vergl. Phil. Trans. ... p. 444.
2 Bibliothèque univ. T. XXVI. p. 309.
3 Journal de Physique. T. XLIX. p. 172.
4 Silliman Amer. Journ. 1822. T. IV.
5 Dictionary. Art. Caloric.
6 Essay sur le calorique, ou recherches sur les causes physiques et chimiques des phénomènes que présentent les corps soumis à l'action du fluide igné cet. Par. an. IX. 8.

seyn müsse. Besteht aber die Wärme aus Bewegung, so mü durch Vereinigung von Wasser und Quecksilber eine mitt Temperatur beider hervorgehn, wogegen aber ganz entgegen setzt das schwerere Quecksilber mehr, das leichtere Wasser niger Wärme erhalte. Keine mitgetheilte Geschwindigkeit kö größer seyn, als die ursprüngliche, und dennoch erzeu heiße feste Körper die prodigiöse Geschwindigkeit, die den expandirten Dämpfen beizulegen gezwungen sind; a könne die Wärme, als bloße Bewegung gedacht, den le Raum nicht durchdringen, eine Kraft ohne materielles Subs tum sey undenkbar.

Gegen diese Zurückführung der hauptsächlich auch c misch wirkenden Wärmephänomene auf einfache Bewegur gesetze erklärte sich Olmsted[1], obgleich selbst Vertheid der Hypothese von einem materiellen Wärmestoff. Ric wird von diesem bemerkt, daß die Wärmeundulationen n Davy's Ansicht Bewegungen der kleinsten Theilchen in messbare Fernen, also mit denen der Massen in meßbare ; stände unvergleichbar sind. Außerdem sind jene rotatori oder vibratorisch, diese dagegen geradlinig. Wenn aber Ol sted seine Widerlegung auch darauf gründet, daß bei der genommenen undulatorischen Bewegung eine Berührung Körpertheilchen nicht zugleich bedingt sey, so läßt sich hi aus ein Argument gegen die Vibrationshypothese hernehm sofern eine Mittheilung der Bewegung ohne Berührung und Abwesenheit jedes Zwischenmittels unvorstellbar erschei dürfte. Diesem Argumente begegnet aber Olmsted durch e Voraussetzung, die dasselbe zwar nicht eigentlich zu entfern wohl aber zur Seite zu schieben vermag, indem er die Fr aufwirft, warum die Wärmeundulationen nicht ebenso gut den l ren oder eigentlicher nur den luftleeren Raum durchdrin sollten, als die von der Sonne ausgehende, die Erde in il Bahn erhaltende Gravitation. Es genügt jedoch hierüber bemerken, daß man unmöglich die Wärme mit der Gravitat in Parallele setzen kann, denn eine *specifische Schwere* im gentlichsten Sinne (nicht specifisches Gewicht), so wie e latente Schwere ist ein mit der Erfahrung unvereinbarer I griff, aber die specifische und latente Wärme sind auf ke

1 Silliman Amer. Journ. T. XI. p. 357. T. XII. p. 11. 60. 358.

Weise in Abrede zu stellen. Hiernach dürfen wir, nach Olm-stro, über das Wesen der Uragentien, als namentlich Anzie-hung, Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus, uns keine Bestimmung erlauben, wenn wir gleich zur Bequemlichkeit die letzteren als Flüssigkeiten betrachten.

23) Ueberblicken wir die gesammten Wärmephänomene und versuchen wir es, sie einer allen genügenden Hypothese anzupassen, so können wir nicht wohl umhin, einen eigenen Wärmestoff (*caloricum;* calorique; *caloric*) als materielles Wesen anzunehmen. Der einzige allgemeine dagegen aufge-stellte Einwurf, dafs sie nicht wägbar sey, ist offenbar nichtig, weil er von der *petitio principii* ausgeht, dafs alle Materie wägbar seyn müsse, was *a priori* nicht behauptet werden kann und wogegen, auf die Erfahrung bezogen, eben die Impondera-bilien einen Beweis abgeben würden. Dabei ist obendrein zu berücksichtigen, dafs bis jetzt die Unwägbarkeit der Wärme noch keineswegs dargethan ist, obschon es Niemanden gelin-gen wollte, sie zu wägen, wie im folgenden Abschnitte gezeigt werden soll. Die Vibrationstheorie der Wärme ist bis jetzt noch Niemanden hinlänglich begründet worden, wie J. T. Mayer überzeugend dargethan hat, und in der angegebenen Allgemein-heit und Unbestimmtheit schwerlich einer genügenden Begrün-dung überall fahig. Man mufs dabei entweder in Gemäfsheit der Aehnlichkeit mit den Lichtphänomenen einen eigenthümli-chen Aether annehmen und gesteht damit die Materialität des Wärmefluidums ebenso zu, als die des Lichtäthers allgemein zugestanden wird, oder die Wärmephänomene als Wirkungen des modificirten Lichtäthers selbst betrachten. Der Versuch, eine Analogie zwischen dem Schalle und den Wärmephänome-nen aufzufinden, ist auf keine Weise mit einer scharfsinnigen Prüfung der Thatsachen vereinbar. Die *Schallschwingungen* des tönenden Körpers erfordern durchaus freie Beweglichkeit und die Berührung, selbst die leiseste, hebt sie auf, ein er-hitzter Körper dagegen verliert von seiner Wärme durch das feste Einschliefsen nichts, aufser was quantitativ von ihm an die Hülle abgegeben wird, ja durch heftigstes Pressen wird diese sogar ausgeschieden, was dem zu vergleichen wäre, wenn eine Stimmgabel durch allseitiges Festklemmen ihrer Zin-ken in einem Schraubstocke zu tönen beginnen sollte. Wollte man diesen Einwurf durch die Annahme beseitigen, dafs die

Bebungen bloſs in den kleinsten Theilchen statt fänden, mit Ampère's Hypothese übereinstimmen würde, so ist es der einen Seite bedenklich, nach der unklaren Ansicht der ten die Naturerscheinungen auf das Verhalten der klein Theile zurückzuführen, von der andern Seite aber zeigt die Volumensvermehrung der Körper durch Wärme, daſs r bloſs die kleinsten, sondern auch die Theile der Körper ü haupt durch die Wärme afficirt werden. Vor allen Di sind die Erscheinungen der specifischen Wärme, so wie welche dem *Richmann'schen Gesetze* zum Grunde liegen, J. T. Mayer[1] mit Undulationen ganz unvereinbar, und ze offenbar einen Austausch eines materiellen Stoffes nach qua tativen Verhältnissen, da es in der That unvorstellbar ist, s wenn man die höheren Temperaturen als bloſse Vermehru der Schwingungsmengen betrachten wollte, daſs z. B. bei schungen von Wasser die zahlreicheren Schwingungen heiſsen Wassers zu den minder zahlreichen des kälteren I zukommend in das arithmetische Mittel beider übergehen s ten, da die Schwingungen des Lichtäthers und tönender K per zwar durch umgebende Substanzen gehindert und aufge ben, aber nicht unter diese und sie selbst vertheilt werden k nen. Mehrere leuchtende und tönende Körper vermehren z den Effect zur Summe beider Wirkungen, ohne daſs jed der eine so viel verliert, als der andere gewinnt. Ist di allein als undenkbar schon für sich ein unübersteigliches H dernifs gegen die Zurückführung aller Wärmephänomene Undulationen, so bietet sich eine neue Schwierigkeit in Vorstellung dar, daſs Körper von bleibender Temperatur stets im Zustande gleichmäſsiger Schwingungen oder Schw gungsmengen befinden sollten, und gleich schwierig, wo n ganz unvorstellbar würde es seyn, die Erscheinungen der r genau quantitativen Verhältnissen latent und nach beliebig ger Zeit wieder frei werdenden Wärme auf eine solche Hy these zurückzuführen. Endlich aber ist die Wärmeleitung Körper von beliebigem Aggregatzustande mit der Vibratio theorie ganz unvereinbar; denn der Lichtwellen nicht zu denken ist der Fortgang der Schallwellen, die wir doch andern Gründen für weit gröber, als die der Wärme ha

1 S. dessen oben erwähnte Abhandlung.

müssten, so unglaublich viel geschwinder, als das Fortschreiten der Wärme selbst in den besten Leitern, dafs man nach Ueberlegung dieser unleugbaren Thatsachen unmöglich noch ferner geneigt seyn kann, dieser eigenthümlichen Vibrationstheorie als allgemeiner Grundlage der Wärmephänomene zu huldigen.

24) Allein wie gewichtig auch diese Argumente seyn mögen, so läfst sich doch auf der andern Seite nicht verkennen, dafs es einige Phänomene giebt, die sich entweder gar nicht oder nur vermittelst sehr gezwungener Hypothesen auf einen in einfachen und quantitativ bestimmbaren Verhältnissen ...enden Wärmestoff zurückführen lassen. Namentlich hat ... die aus dem Ursprunge der Wärme durch Reibung von Anhängern der Vibrationstheorie entnommenen Argumente durch künstliche Mittel zwar zur Seite geschoben, aber noch keineswegs genügend widerlegt; denn die Voraussetzung, dafs in den geriebenen Körpern frei gemachte Wärmestoff an die zunächst umgebenden Körper übergehen und der hierdurch bewirkte Abgang durch eine Aufnahme aus weiter entfernten Substanzen wieder ersetzt werden sollte, hat unverkennbar etwas Gezwungenes und sich selbst Widerstreitendes. Auf gleiche Weise ferner, als die gewöhnliche Fortleitung der Wärme durch Körper von der verschiedensten Aggregatform unverkennbar das Gepräge der allmälig fortschreitenden Aufnahme eines materiellen Stoffes nach der verschiedenen Anziehungskraft der individuellen Substanzen trägt, ebenso unverkennbare Aehnlichkeit, oder wohl Gleichheit, haben die Phänomene der von spiegelnden Flächen oder sonst strahlenden Wärme mit der Wellenbewegung des Lichtes und des Schalles. Abgesehen von anderen verschiedenen Phänomenen endlich, die nächstens näher erörtert werden sollen, ist der Ursprung bedeutender Wärmemengen, die namentlich bei verschiedenen ...tionen plötzlich frei werden, nach denjenigen Principien, die man in Gemäfsheit der Theorie eines materiellen Wärmestoffes für andere Phänomene in Anwendung bringt, durchaus unerklärbar, weil bald mehr, bald weniger Wärme zum Vorschein kommt, als wirklich gegeben ist. Dieses bereits ..., durch H. Davy in Beziehung auf das Verbrennen des Schiefspulvers (§. 8) aufgestellte Argument gewinnt an Beweiskraft, wenn man die Wärmeentwickelung bei der Verbindung des Schwefels mit Eisen und andern Metallen (§. 135), ...

die enorme Hitze des Knallgasgebläses und überhaupt Wärmeproduction durch Chemismus consequent zu erkl versucht, welche gesammten Phänomene hier bloſs anzude genügt, da sie später näher erörtert werden müssen.

25) Wenn daher nicht bloſs gewichtige, sondern man wohl sagen gleich gewichtige und ohne künstlichen Zv nicht zu beseitigende Argumente sowohl für die Materia des Wärmestoffes, als auch für die Vibrationstheorie vorhai sind, so läſst sich schon im voraus vermuthen, daſs, wi ähnlichen Fällen gewöhnlich, die Wahrheit in der Mitte l Diesem gemäſs habe ich zuerst in meiner Schrift über das Schi pulver[1], demnächst in meinem Programme[2] angedeutet, die gangbare Theorie eines materiellen, bloſs nach quantitat Verhältnissen vertheilten Wärmestoffes zwar in einigen scheinungen eine unwandelbare Stütze finde, andere aber nügend zu erklären keineswegs hinreiche; später aber[3] l ich bestimmt den Satz aufgestellt: „daſs verschiedene Wär „phänomene nicht sowohl aus einer eigentlichen Vermehr „einem Ueberströmen, einer Bewegung des Wärmestoffes, „vielmehr aus Schwingungen desselben, Undulationen „Wellen zu erklären sind, und so wie wir daher bei der l „eine Menge Wirkungen aus dem Drucke und der Beweg „derselben (Aerostatik, Pneumatik), andere dagegen, nament „die des Schalles, aus ihren Wellen erklären, ebenso wü „manche Erscheinungen der Wärme auf Vermehrung und „wegung derselben, andere auf wellenartige Schwingungen „rückzuführen seyn."

Seitdem die Undulationstheorie des Lichtes einen vollst digen Sieg über die Emanationstheorie davon getragen hat die gehaltvollen Versuche von Melloni und Forbes über Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen die genau Uebereinstimmung einer groſsen Menge von Wärmephä menen mit dem Verhalten des Lichts unwidersprechlich gethan haben, kann die Existenz von Wärmeundulatic nicht wohl mehr zweifelhaft seyn; diese setzen dann wi das Vorhandenseyn eines in Wellenschwingungen verset

1 Ueber das Schieſspulver. Marburg 1817. 8.
2 Sacra natalitia Divi Caroli Friderici cel. Heidelb. 1820. 4.
3 Handbuch der Naturlehre. Heidelb. 1829. Th. I. S. 453.

materiellen Wesens voraus, die Materialität des Wärmestoffes ist somit als erwiesen zu betrachten, schon deswegen, weil die Lichtstrahlen auch im leeren Raume von Wärmestrahlen begleitet sind, und die streitige Frage geht in eine andere über, ob der Wärmeäther mit dem Lichtäther identisch oder von ihm verschieden sey, die jedoch späteren Untersuchungen vorbehalten bleibt. Vor der Hand dürfen wir als ausgemacht anhen, dafs die Hypothese, wonach die Wärmephänomene Ergebnisse der Vibrationen derjenigen Körper selbst und ihrer heile seyn sollen, worin sie sich zeigen, als den Thatsachen nicht genügend zu verwerfen und vielmehr ein *eigenthümlicher Wärmestoff* anzunehmen sey, welcher theils durch Verhrung, Verminderung und Uebergang, theils durch Undulaten die von einander wesentlich verschiedenen Erscheinun- hervorbringt. Die Existenz solcher Undulationen als sache verschiedener Wärmephänomene kann gegenwärtig n mehr zweifelhaft seyn, wie unzweideutige Aeufserungen Physiker beweisen, unter denen ich vorläufig nur Baumgartner und Forbes nennen will. Ersterer sagt[1]: „nur so scheint ausgemacht, dafs die Annahme eines eigenen, in ganzen Welt verbreiteten, höchst feinen, ausdehnsamen ffes, des sogenannten Wärmestoffes, der mit den Körpern Art chemischer Verbindung eingehn soll, zur Erklärung Wärmephänomene überhaupt, der in der neuesten Zeit eckten insbesondere, nicht genüge, und dafs höchst wahrinlich die Wärme, wie das Licht, in Schwingungen des ers, vielleicht auch der kleinsten Körpertheile selbst, be-, welche bei den sogenannten warmen Körpern stehende, der im Fortschreiten begriffenen fortschreitende sind, so demnach schallende, leuchtende und warme Körper zu Classe schwingender Körper gehören, während die Fortzung des Schalles, des Lichts und der Wärme in Schwinen anderer Art besteht." Nach diesen Ausdrücken er- t Baumgartner als Anhänger der Vibrationstheorie; weil r sonst und auch noch später[2] über die physische Ursache

---

1 Anfangsgründe der Naturlehre. Wien 1837. 8. S. 132.

2 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. Baumgartner und A. v. Ettingshausen. 6. Aufl. Wien 1839.

der Wärmephänomene zu entscheiden Anstand nimmt, so ist in mitgetheilten Stelle zunächst nur der zwischen den verschie nen Aeufserungen der Wärme festgesetzte Unterschied zu rücksichtigen. FORBES dagegen wurde bei der Erklärung Erscheinung des durch TREVELYAN erfundenen *Thermopl* (§. 284) gezwungen, Wärmewellen anzunehmen, und d. zugleich Anhänger eines Wärmestoffes ist, so kann man sa dafs er allerdings verschiedene Wärmephänomene auf Und tionen eines materiellen Wärmestoffes zurückführt.

26) Nach meiner festen Ueberzeugung mufs die haltendste und schärfste Prüfung der mitgetheilten Gri zu der Ueberzeugung führen, dafs die Erscheinungen Wärme nur durch Annahme eines materiellen Wärmes fes erklärbar werden, jedoch so, dafs einige derselben l auf quantitativen Verhältnissen der Vermehrung, der Vern derung und des Ueberführens beruhen, andere dagegen Wirkungen von Undulationen zu betrachten sind. Diese l pothese ist keineswegs gezwungen, vielmehr haben wir auffallende Analogie in den zur Mechanik gehörenden Phä menen. Wir sind nur zu sehr gewöhnt, die Schallschwing gen als eigenthümliche, den übrigen Bewegungen der Kö unähnliche, zu betrachten; genauer erwägend müssen wir zugestehn, dafs beide vereint eine auffallende Analogie mit Verhalten der Wärme abgeben. Benutzen wir nur, um ei festeren Anhaltpunct zu haben, diejenigen Erscheinungen, v che die atmosphärische Luft zeigt. Diejenigen derselben, v che auf quantitativen Verhältnissen beruhn, sind allgemein kannt; wenn wir aber berücksichtigen, dafs die Schallvibra nen in derselben ohne Aenderung ihrer Menge und ohne gentliche fortgehende Bewegung massive Mauern erbeben macl so scheint es mir nichts weniger als unnatürlich, anzunehn dafs auch die Schwingungen des Wärmeäthers, ohne qua tative Aenderung desselben, feste Körper in heftige Bebun versetzen und den in ihnen befindlichen Aether zu ähnlic Vibrationen veranlassen können. Der Annahme eines Wärr äthers scheint aber ebenso wenig ein Hindernifs im Wege stehen, als der eines Lichtäthers, dessen Existenz man geg wärtig überall nicht in Zweifel zieht. Wir wollen vor diese Hypothese benutzen, um bei der folgenden Untersuch der verschiedenen Erscheinungen diejenigen zu bezeichn

welche auf quantitative Verhältnisse des Wärmestoffes und welche auf Undulationen desselben zurückzuführen sind.

27) Ueber das eigentliche Wesen dieses Wärmeäthers schon jetzt etwas bestimmen zu wollen wäre auf jeden Fall zu voreilig, da uns diese Aufgabe in Beziehung auf den Lichtäther noch nicht gelungen ist, dessen Verhalten, im Ganzen viel einfacher, wir bei weitem genauer kennen. La Place[1] betrachtet den Wärmestoff zunächst in Beziehung auf die Gasbildung als ein sehr feines ätherisches Fluidum, dessen Molecüle mit Repulsivkraft versehen sind, worüber jedoch schon an einem andern Orte[2] das Nöthige gesagt worden ist. John Barton[3] lt seinen Ansichten und glaubt, dafs die Phänomene der ärme weit einfacher durch Annahme eines materiellen Stoffes als aus Undulationen der vorhandenen Körper erklärt werden können, wobei wohl ohne Zweifel Undulationen der Theile ter, flüssiger und gasförmiger Körper selbst, nicht aber des schen ihnen befindlichen Wärmestoffes, gemeint sind. Die lecüle des Wärmestoffs denkt er sich sehr klein im Verhältnis zu denen der wägbaren Materie, die letzteren aber klein Verhältnifs zu den Intervallen zwischen ihnen, was mit rton's Ansichten übereinstimmt. Hieraus wird dann geert: 1) Die Wärmemolecüle, welche die der Körper berühoder sich in elliptischen Bahnen um sie bewegen, können nur durch einen gewissen Impuls entfernen und geben die te Wärme. 2) Durch Reiben u. s. w. werden die in Eln bewegten Wärmemolecüle aus ihren Bahnen getrieben, wegen gehämmertes Metall durch den Verlust seiner latenWärme spröde wird. 3) Bestehen Körper aus elliptischen cülen, so werden die Wärmemolecüle sich um ihre Mitte ufen, woraus die ungleiche Ausdehnung nach Mitscherlich erklärbar wird. 4) Bei einem gewissen Verhältnifs der tiven und repulsiven Kräfte gleicht die Bahn der Wärmolecüle einer Conchoide, die Bahn der Wärme gleicht in m Falle bei diathermanen Körpern einer geraden Linie; diathermanen Körper lassen auch Wärme durch, aber erst dem die Wärmemolecüle die Molecüle der Körper mehr-

---

[1] Méc. cél. T. V. Chap. XII. p. 90 ff.
[2] S. Art. Gas. Bd. V. S. 1056.
[3] London and Edinb. Phil. Mag. N. LXII. p. 342.

mals umkreiset haben und wiederholt von der Oberfläche • Körper in deren Inneres gezogen worden sind. 5) Die Mole der Körper werden durch zwei Kräfte angezogen, durch die ziehung gegen einander und gegen die Wärmeatmosphären andern, durch zwei Kräfte abgestofsen, nämlich durch die pulsion der Wärmeatmosphären und die Molecüle der sensi Wärme, die sich zwischen ihnen befinden. Diese Kräfte zeugen den Zustand des stabilen Gleichgewichts, insofern Attractivkraft mit der Zunahme des Abstandes in einem ger geren Verhältnisse abnimmt, als die Repulsivkraft; wenn aber Theilchen der sensibeln Wärme vermehrt werden, so dehnt sich Körper aus und das stabile Gleichgewicht wird abermals hergeste Erreicht aber die Ausdehnung einen gewissen Punct, so v wandeln sich die Bahnen der umkreisenden Wärmemole aus der hyperboloidischen Form in die ellipsoidische und e gewisse Quantität derselben wird also latent. Gleichzeitig w eine andere Menge sensibeler Wärme von aufsen aufgeno men, die gesammte Summe überwindet die Attractivkraft u es tritt Dampfbildung ein. 6) Wenn flüssige Körper sich be Festwerden ausdehnen, so ist dieses Folge anderweitiger Krä z. B. derer, die aus der Gestalt der Molecüle hervorge 7) In der Lage gröfster Anziehung der Molecüle fester K per sind ihre ausspringenden Winkel einander zugekehrt, w aus folgt, dafs beim Erstarren die Bahnen einer Quantität von W memolecülen aus der ellipsoidischen Form in die hyperboloidis übergehen und daher ein Theil der latenten Wärme frei wi 8) Je gröfser die Molecüle sind, desto besser leiten die Kör die Wärme und desto schlechter strahlen sie dieselbe aus; de die Geschwindigkeit der Bewegung wächst mit der Masse, der Oberfläche aber wird die Wärme durch die stärkere A ziehung der gröfseren Molecüle mehr zurückgehalten, wesv gen die Metalle die besten Leiter und die schlechtesten A strahler sind. Wenn Barton endlich die scheinbare Abstofsu gewisser Körper und die Erscheinungen der Capillardepress von den Wärmeatmosphären ableitet und die Bahnen der W memolecüle, welche die latente Wärme bilden, mit den elliptisc der Planeten und Trabanten, derer aber, welche die strahle Wärme erzeugen, mit den parabolischen und hyperbolisc der Kometen vergleicht, so ist dieses wohl nur für ein s freies Spiel der Phantasie, und die ganze, von ihm auf

stellte Hypothese keineswegs für genügend begründet zu halten.

28) Es ist oben[1] bemerkt worden, daſs La Place das eigentliche Wesen der Wärme unbestimmt läſst. In dieser Beziehung hat Barton's Ansicht entschiedene Vorzüge, sofern man dieselbe in Gemäſsheit der näheren Bestimmung besser prüfen und Gründe für und wider dieselbe aufstellen kann. Es giebt offenbar einen besseren Anhaltpunct, wenn man sich die Wärme aus sehr kleinen, mit Repulsivkraft begabten Molecülen bestehend denkt, die zwar eben wegen ihrer unbestimmbaren Kleinheit unvorstellbar für uns seyn müssen, die wir bloſs zur Anschauung meſsbarer Körperchen zu gelangen vermögen, inzwischen läſst sich doch eine Anziehung der gröberen Körpermolecüle gegen die feineren Wärmemolecüle und eine Abstoſsung dieser letzteren unter sich einigermaſsen vorstellbar machen. Da man aber bei der Erörterung der Naturerscheinungen irgend eine Hypothese als Anhaltpunct zum Grunde legen muſs und die angegebene von La Place und Barton viel für sich hat, wenn man einstweilen die angenommenen verschiedenen Bahnen als noch unerwiesen und minder nöthig ausschlieſst, so wollen wir bei den folgenden Betrachtungen einen materiellen Wärmestoff annehmen und versuchen, wie sich diese Hypothese den Erfahrungen anpassen läſst.

29) Noch müssen wir hier eine Hypothese erwähnen, welche, von Berzelius[2] aufgestellt, schon wegen dieses durch Scharfsinn ebenso sehr als durch groſsen Umfang von Kenntnissen ausgezeichneten Erfinders nicht wenige Anhänger erhalten hat. Hiernach existirt zwar ein eigentlicher Wärmestoff als unwägbare, ätherartige Substanz, deren Verhalten eigenthümlichen Gesetzen unterworfen ist, allein sie ist nicht einfach, sondern aus positiver und negativer Elektricität zusammengesetzt. Da es hier vorzüglich auf die Frage abgesehen ist, ob wir einen eigenthümlichen Wärmestoff anzunehmen haben, diese aber nach dieser Theorie bejahet wird, später aber (218 u. 226) von Erregung der Wärme durch Elektricität besonders die Rede seyn wird, so läſst sich die Prüfung dieser Hypothese am bequemsten an die genannten Untersuchungen über diese specielle Wärmequelle anknüpfen.

1 S. Art. Gas. Bd. V. S. 1074.
2 Versuch über die chemischen Proportionen. S. 79.

B. Wägbarkeit der Wärme.

30) Man hat sehr allgemein, namentlich von Seiten Naturphilosophen, der Materialität der Wärme, des Lich der Elektricität und des Magnetismus ihre Unwägbarkeit ganz entscheidendes Argument entgegengesetzt, so wenig weisend dasselbe auch ist, da gegenwärtig wohl niemand der Materialität des Lichtäthers zweifelt, welchen man we seiner allgemeinen Verbreitung durch den ganzen Weltr doch unmöglich für schwer halten kann. Merkwürdig aber dabei der Umstand, dafs niemand, so viel ich weifs, die fa sche Unwägbarkeit dieser sogenannten Imponderabilien in Zw fel gezogen und sie zu wägen versucht hat, aufser bei Wärme. Die Ursache hiervon liegt vermuthlich darin, das Licht sich nicht wohl in Körpern fixirt, denn bei den genannten Lichtsaugern hielt man die vorhandene Menge v muthlich überall zu gering, als dafs auch die feinste Wa davon afficirt werden könnte, wenn man auch nach der einigen Physikern herrschenden Ansicht eine wirkliche A nahme und nachherige Ausscheidung des Lichtstoffes anna einem elektrisirten Körper ist zwar nach Franklin elek sches Fluidum zugeführt, allein die Anziehung, welche solcher nach allen Seiten hin ausübt, und die augenblicklich ginnende Ausströmung der Elektricität mochte wohl von jed Versuche einer Wägung abschrecken, der Magnetismus wurde stets auf eine Trennung zweier, früher vereinter Mag tismen zurückgeführt, wonach überall keine Gewichtsverm rung statt finden konnte; blofs bei der Wärme hat man sch frühe die Frage über ihre Wägbarkeit aufgeworfen, weil Erscheinungen, welche sie darbietet, in der That auf ein Hi zukommen eines gewissen Etwas hindeuten, und wenn m die Wahrheit berücksichtigt, dafs die Natur überall kei Sprung macht, so war es keineswegs unphilosophisch, die V muthung zu hegen, dafs im Uebergange von den gewichtig Körpern zu den minder gewichtigen die Wärme die äufse Grenze bilden und nur unmefsbar schwer seyn könne[1]. V

1 Es kann hier nur vom Gewichte der Wärme an sich die R seyn, nicht von einer Gewichtszunahme durch Feuer erzeugt. All dings werden Metalle durch Verkalkung in der Hitze schwerer, manche Aeltere einem Hinzukommen des Feuers zuschrieben, z.

hielte sich wirklich das Gewicht der Wärme zu dem des Wasserstoffgases unter atmosphärischem Drucke oder gar zu dem des Wasserdampfes in niedriger Temperatur, wie dieses zum Platin, so würde eine wirkliche Wägung stets unmöglich bleiben, woraus von selbst folgt, daſs alle bisherigen Versuche, die Wärme zu wägen, wenn sie auch ein negatives Resultat geben, dennoch die vorliegende Frage zu beantworten nicht vermögen.

31) Bei den eigentlichen Anhängern des CARTESIUS konnte die Frage über die Wägbarkeit der Wärme nicht füglich aufgeworfen werden, denn nach seiner Philosophie gehörte das Feuer zur sublimen Materie und war das Resultat der Bewegung dieses ersten Elementes. Wir können daher die Geschichte dieser Untersuchungen mit BOERHAVE[1] beginnen, welcher die Schwere der Wärme bezweifelt, weil das Feuer im ganzen Weltraume gleichmäſsig vertheilt sey und bloſs Elasticität besitze. Kein Naturforscher aber hat sich mehr Mühe gegeben, die Wärme selbst vorerst dem Auge sichtbar zu machen, als MARAT[2]. Hierzu bediente er sich des Sonnenmikroskops in einem verfinsterten Zimmer, wodurch er die aufsteigenden Wärmetheilchen so stark zu vergröſsern hoffte, daſs sie durch das Auge wahrnehmbar würden. Von glühenden Körpern glaubte er etwas in Gestalt feuriger Wellen aufsteigen zu sehn, was nach seiner Meinung Verwandtschaft gegen Wasser, Salze, Erden, Metalle, das Phlogiston und das Licht äuſserte und daher von der Lichtmaterie, dem Phlogiston und der elektrischen Materie verschieden seyn muſste. Er nannte dieses *feurige Flüssigkeit* (fluide igné) und erklärte es für eine eigene Substanz, deren Bestandtheile er durchsichtig, schwer, äuſserst hart, kugelförmig und ausnehmend klein finden wollte. Er brachte in den Lichtkegel seines Mikroskops theils solche Körper, die durch das Feuer zerstört werden, als eine brennende Wachskerze, glühende Kohlen u. s. w., theils auch nicht zerstörbare, als glühende Metalle, Porcellan, Bergkrystall u. s. w., und sah dann stets auf

---

...RTIUS de Rer. Nat. L. II. v. 185 und Andere. Vergl. MUSSCHENBROEK Introd. §. 1578.

1 Elementa Chym. T. I. p. 175 u. 306.

2 Découverte sur le feu, l'électricité et la lumière. Paris 1779. 8. Deutsch mit Anm. von WEIGEL. Leipz. 1783. Recherches sur le feu. ... 1780. 8.

der reflectirenden Wand einen aufsteigenden weißen Cylin[der], der sich oben erweiterte und in kräuselnde Wellen ausbreit[ete], zugleich auch durch den Luftstrom eines Blasebalges sich se[it]wärts beugen liefs. Es darf wohl kaum bemerkt werden, d[afs] theils die zersetzten Theile der Körper, theils der aufsteige[nde] Luftstrom diese Erscheinungen hervorbrachten. Marat ve[r]suchte auch die später so oft wiederholten Wägungen und f[and] sonderbarer Weise, dafs heifse Körper schwerer würden, ve[r]muthlich weil er dieses Resultat mit Gewifsheit erwarte[te]. Eine 6 Unzen schwere silberne Kugel wog beim Rothglüh[en] 5,5 Gran mehr und eine 15 Unzen 6 Qt. schwere kupfe[rne] Kugel hatte weifsglühend 2 Gran mehr, nach dem Wieder[er]kalten aber 3 Gran weniger Gewicht, wonach Marat [das] Feuer für schwerer hält, als die Luft. Zu einem ähnlich[en] Resultate gelangte Rob. Boyle[1] durch seine Wägungen erhi[tz]ter Körper, und auch Homberg[2] folgerte die Schwere [der] Wärme daraus, dafs 4 Unzen Antimon, dem Focus des grof[sen] Brennglases in Paris ausgesetzt, 3 Drachmen an Gewicht z[u]genommen hatten. Boerhave versicherte dagegen, dafs er b[ei] seinen Versuchen nie zu einem solchen Resultate gelangt se[y], und Musschenbroek[3] bestreitet die Zulässigkeit solcher W[ä]gungen überhaupt, weil ein heifser Körper in einer leichter[en] umgebenden Luft gewogen werde, als ein kalter, obwohl si[ch] hierfür wohl eine annähernde Correction auffinden liefse, we[nn] nicht andere Hindernisse im Wege ständen. Uebrigens hi[elt] er die Wärme nicht blofs für materiell, sondern auch für schw[er], obgleich für so unmerklich, dafs seine Waage keine Aend[e]rung des Gewichts anzugeben vermöge, und er widerlegt dahe[r] den Schlufs, welchen du Hamel[4] aus seinen Wägungen ei[-]serner Körper entlehnte, dafs die Wärme das Gewicht de[r] Körper vermindere, wonach sie also negativ schwer sey[n] müfste.

32) Diese und viele andere ältere Physiker wurden offen[-]bar durch die Gewichtsvermehrung irre geleitet, welche de[r] Zutritt des Sauerstoffs bei der Calcination verursacht, und über

1 De ponderabilitate flammae. In Opp.
2 Hist. de l'Acad. 1709. Cours de Chim. chap. V.
3 Introd. §. 1581.
4 Historia Acad. Reg. Scient. L. I. sect. 2. cap. 1.

haupt waren sie gewohnt, wenn sie sich auch nicht ausdrücklich darüber äufserten, den Begriff der Schwere mit dem Begriffe der Materialität zu vereinigen, denn Musschenbroek glaubte sogar, dafs die Sonnenstrahlen, die er doch für so außerordentlich fein hielt, in den Körpern verdichtet würden und dadurch eine Gewichtsvermehrung hervorbrächten. Angemessener sind daher diejenigen Versuche, wodurch man den unmittelbaren Einflufs der Wärme auf das Gewicht der Körper zu ermitteln suchte. So erzählt Kraft[1] von einem Versuche, welchen Candidus Buono zu Florenz anstellte, indem er der Waagschale einer empfindlichen Waage ein heifses Eisen näherte und sie leichter fand, das Eisen mochte über oder unter ihr gehalten werden, was aber Kraft von ihrer Ausdehnung ableitet, in deren Folge sie ein gröfseres Volumen Luft aus der Stelle treibe. Bekanntlich ist jedoch dieses die Ursache nicht, oder mindestens nur zu einem geringen Theile, welche bewirkt, dafs erhitzte Körper auf der Waagschale leichter zu seyn scheinen, sondern die Erwärmung der Luft über und neben denselben erzeugt eine aufsteigende Strömung, welche zugleich die Körper, namentlich aber die Waagschale, mit sich in die Höhe reifst[2]. Diese richtige Erklärung gab schon Boerhave[3], als er fand, dafs von zwei gleichen Metallstäben der eine leichter werde, wenn man eine glühende Kohle über ihn, und schwerer, wenn man sie unter ihn halte. So wie Marat, wollte auch Buffon[4] erhitzte Körper schwerer, als kalte, gefunden haben, wonach also die Wärme ein positives Gewicht haben müfste, statt dafs die durch Andere, namentlich durch Whitehurst und Roebuck[5] mit Gold und Eisen erhaltenen Resultate auf eine negative Schwere derselben führten. Am bekanntesten sind die durch Fordyce[6] angestellten Versuche geworden. Dieser fand stark erhitztes Gold leichter als kaltes, und

---

1 Praelect. in Phys. P. I. §. 163.
2 Vergl. Library of useful knowledge. Nat. Phil. 1829. T. I. t. p. 1.
3 Elementa chemiae. L. B. 1732. T. I. p. 244.
4 Hist. Nat. Suppl. T. II. p. 11.
5 Journ. de Phys. T. XIII. Suppl. p. 111.
6 Phil. Trans. 1785. T. LXXV. P. II. N. 21. Goth. Mag. Th. IV. S. 49. V. Crell chem. Ann. Th. I. S. 161. Gren Journ. Th. VII. S. Scherer's Journ. Th. II. S. 786.

als er 1700 Gran Wasser in einem hermetisch verschlosse Gefäfse gefrieren liefs, erhielt dasselbe eine Gewichtsverm rung von $\frac{1}{16}$ Gran. Guyton de Morveau, Gouvenain Chaussier wiederholten diesen Versuch und erhielten ni blofs gleiche Resultate, sondern fanden auch, dafs 2 ℔. triolöl im gefrorenen Zustande um 3 Gran schwerer waren, als flüssigen[1]. Diese Resultate bewogen später Gren[2], dem Ph giston eine negative Schwere beizulegen, wie bereits erwä worden ist. Mehrere Versuche, die zur Lösung dieser Aufg dienen sollten, sind auch durch Eimbke[3] angestellt word Dieser wog Glascylinder zuerst kalt, dann bis zum Glühen erhi und fand sie im letztern Zustande allezeit leichter als im stern. Um dabei die Ausdehnung der umgebenden Luft vermeiden, schlofs er die Cylinder in hölzerne, mit Mess ausgefütterte Kapseln ein. Ferner wog derselbe Kalk u Wasser, welche sich in einem verkorkten Medicinglase bef den, vor dem Löschen und dann wieder nach dem Erkalt Diese Versuche wurden mit mehrfachen Modificationen ang stellt, auch bildeten gleich grofse Gläser, als diejenigen, w che Kalk und Wasser enthielten, das Gegengewicht, um m nometrische Einflüsse zu vermeiden; allezeit aber zeigte si nach dem Entweichen der Wärme eine mefsbare Zunahme Gewichts, wonach also der Wärmestoff nothwendig eine gative Schwere haben müfste. Ja sogar als Eimbke ein v korktes Glas, worin sich Erbsen im Wasser befanden, mit nem andern gleichfalls verkorkten Glase mit Wasser ins Gleic gewicht gesetzt hatte und das Wasser durch die Erbsen aufg sogen war, zeigte sich eine Gewichtszunahme, die vom Ein dringen des Wassers in die Erbsen und der hierdurch frei ge wordenen Wärme abgeleitet wurde. Gehler[4] zeigt aber ge nügend die grofsen Schwierigkeiten, die der Genauigkeit d Resultate aus solchen Versuchen entgegenstehn und sich zu Theil selbst aus den mitgetheilten Thatsachen entnehmen la sen, weswegen auch Fordyce selbst die negative Schwere d Wärmestoffs für ganz unvorstellbar erklärt.

---

1 Journ. de Phys. 1785. Oct.

2 Grundrifs d. Naturl. §. 427. Syst. Handb. d. ges. Chemie. T I. §. 295 u. a. a. O.

3 Gren's Journ. d. Phys. Th. VII. S. 30.

4 Wörterb. Th. V. S. 939.

33) Betrachtet man die Aeufserungen der älteren Physiker etwas näher, so ergiebt sich bald, dafs beide Parteien durch die unrichtige Deutung allbekannter Erscheinungen irre geführt wurden und dann die Resultate ihrer Versuche nach ihren vorgefafsten Meinungen deuteten. Diejenigen, welche die Gewichtsvermehrung so vieler Körper wahrgenommen hatten, die anhaltend der Einwirkung des Feuers ausgesetzt gewesen waren, leiteten diesen Erfolg von einem Hinzukommen der Feuermaterie oder des Wärmestoffes ab, und gelangten hierdurch zu der Ueberzeugung, dafs diese Substanz schwer seyn müsse; andere dagegen, welche vorzugsweise das Aufsteigen erhitzter und dadurch specifisch leichter gewordener oder durch den Luftstrom emporgehobener Körper ins Auge fafsten, fanden die Ursache hiervon in der Wärme und legten dieser daher eine negative Schwere bei. Dieses ergiebt sich deutlich aus dem, was Lambert[1] über das Aufsteigen der Flamme und der Wärme, wie er es nennt, eigentlich der warmen Luft, sagt, wobei ihn jedoch sein Scharfsinn abhält, die offenbar an sich unzulässige Hypothese einer negativen Schwere des Wärmestoffes anzunehmen, den er vielmehr nur leichter, als die Luft, nennt. Ebendiese Bewandtnifs hat es mit Achard's[2] Versuchen, welcher heifse Kugeln zwischen vertical über einander aufgehangene Thermometerkugeln brachte und dabei ein Aufsteigen der Wärme wahrnehmen wollte.

34) Dafs auf die bisher angezeigte Weise die vorliegende Frage nicht beantwortet werden könne, ist für sich klar, und im Allgemeinen mufs man bezweifeln, dafs dieses überhaupt möglich sey. Der einzige Weg, auf welchem man vielleicht zu diesem Ziele zu gelangen vermöchte, dürfte seyn, zu versuchen, ob die bei verschiedenen Mischungen der Körper frei oder latent werdende Wärme eine mefsbare Veränderung des Gewichts der Körper bewirkt. Am geeignetsten hierzu dürften Schnee und salzsaurer Kalk seyn, die beim Schmelzen eine so grofse Menge Wärme verschlucken, oder noch leichter Schwefelsäure und Wasser, die bei ihrer Vereinigung eine bedeutende Quantität Wärme abgeben, wäre es nur möglich, während dieser Processe das Hinzukommen oder Abgeben materieller Stoffe von

1 Pyrometrie. 6tes Hauptst. S.

2 Mém. de l'Acad. de Berlin. Ann. 1788 et 1789. Berl. 1793.

und nach aufsen gänzlich zu verhüten. Versuche dieser A
die jedoch in der genannten Beziehung eine strenge Kri
nicht bestehn, haben MOSCATI[1] und EBEL[2] angestellt, wor
hervorging, dafs die bei ihrer Vereinigung Wärme entbinde
den Körper leichter, die Wärme bindenden dagegen schwe
wurden, wonach also die Wärme ein mefsbares Gewicht hab
müfste. Ihre Versuche sind wohl unter allen die beachten
werthesten und zeigen wenigstens die zu betretende Bal
wenngleich die dabei obwaltenden Schwierigkeiten unübe
windlich seyn mögen. MOSCATI, nicht befriedigt durch
Versuche des BARTHOLOMÄUS DE SANCTIS[3], wog Schwefe
säure und Wasser einzeln, gofs sie dann zusammen und fa
während der hierdurch entstehenden Erhitzung eine Zunah
des Gewichts, die nach dem Erkalten wieder verschwan
THOMAS EBEL bediente sich einer Waage, die auf 0,25 G
einen Ausschlag gab, wog zwei Flaschen, die eine mit Wa
ser, die andere mit Schwefelsäure zur Hälfte gefüllt, misch
dann beide Flüssigkeiten mit Vermeidung jedes Verlustes dur
Verdampfung und fand sie hiernach um 1,5 Gr. leichter, we
ches er dem Verluste durch die frei gewordene Wärme be
legte. Ferner vermengte er 11 Theile Salmiak, 10 Th. Sa
peter, 16 Th. Glaubersalz, 32 Th. Wasser, alles 2 Unz
betragend, verstopfte sogleich das Gefäfs, trocknete es nachh
wieder und fand 0,5 Gr. Gewichtszunahme. Man war di
semnach geneigt, dem Wärmestoffe Schwere beizulegen, b
die Aufgabe nach der Ansicht fast aller Physiker durch d
bekannten Versuche RUMFORD's[4] zur definitiven Entscheidu
gebracht wurde. Dieser füllte sogenannte Florentiner Phiole
mit Wasser, Weingeist und Quecksilber, verschlofs sie her
metisch, brachte sie auf einer feinen Waage, die noch 1 Mil
liontel des Totalgewichts anzeigte, ins Gleichgewicht, liefs si
von 16°,11 C. bis — 1°,67 erkalten, wog sie dann wieder un
fand ihr Gewicht ganz unverändert. Der Luftzug im Zimme
das Ansetzen von Staub und Feuchtigkeit, so wie sonstig

1 Biblioth. Brit. T. XLVI. p. 403.

2 Medical Repos. 1805. Jan. Bibl. Brit. T. XXXVIII. 398.

3 Journ. de Phys. T. LXXII. p. 127.

4 Philos. Trans. T. LXXXIX. p. 179. G. V. 206. Scherer's Journ. Th. V. S. 53. Biblioth. Brit. T. XIII. p. 233.

sorgfältig vermieden, und da sich
ste Unterschied des Gewichts zeigte,
Folge seiner viel gröfseren specifi-
leich mehr Wärme verlieren mufste,
as Gefrieren eine ausnehmende Quan-
JMFORD mit Recht, dafs seine Waage,
eit ungeachtet, ein wahrnehmbares Ge-
gen nicht vermochte. Die Versuche,
sich nicht wohl Einwendungen ma-
gs wichtig, dafs sie aber die absolute
e dennoch nicht beweisen können, ist
en worden.

t P. W. HOLLAND[1] dieses Problem von
Seite aufgefafst. Er giebt zu, dafs die
Gewicht der Wärme nicht anzugeben ver-
tet z. B. beim Verbrennen von Knallgas
enge Wärme frei wird, so wiegt doch
viel, als die Summe der beiden vereinten
ner Ansicht aber kann die Wärme nicht
sie giebt kein Moment ihrer Bewegung,
der Sonne ausgehende und den Planeten
örung der Bahnen dieser letzteren zur Folge
erbei widerlegt er das sehr leicht sich dar-
, dafs die überwiegende Anziehung der Him-
Hindernifs leicht überwinden könne, durch
tigkeit der verschiedenen Himmelskörper, die
em gleichen Impulse ungleiche Flächen dar-
einen Unterschied zeigen müfsten; allein es
entation hauptsächlich entgegen, dafs ein sol-
tztes Ausströmen der Wärme aus der Sonne
erwiesen worden ist, viel weniger aber die Ge-
einer solchen Bewegung; denn wenn man letztere
s gleich setzt, so beruht dieses auf einer irrigen
r Lichtbewegung, indem zwar die Lichtwellen
nnten Geschwindigkeit fortschreiten, der Licht-
ber dabei ohne alle fortgehende Bewegung seyn
ne Zweifel wirklich ist.

—

on and Edinburgh Philos. Magazine. N. LV. p. 396.

36) Ein hierher gehöriger Versuch, welchen Pictet[1] Verbindung mit Sennebier anstellte, machte zu seiner viel Aufsehen, wurde aber nachher vergessen, weil die A merksamkeit der Physiker zu sehr durch die neu gestalte Erscheinungen des Voltaismus in Anspruch genommen wu obgleich es sich wohl der Mühe lohnen dürfte, ihn mit gel rigen Modificationen zu wiederholen. Pictet erhitzte im l verdünnten Raume einen Messingstab in seiner Mitte durch Brennglas, und fand, dafs allezeit das obere Ende, welches auch dazu nehmen mochte, schneller und stärker warm wu als das untere, und er legt deswegen dem Wärmestoffe der Schwere entgegengesetztes Bestreben (*tendance anti-gra* bei. Gehler[2] meint, die gebrauchte Glasröhre, worin der Stab befand, sey nicht vollkommen luftleer gewesen, es habe daher die aufsteigende verdünnte Luft dem obern E Wärme zugeführt, auch könne die Nähe des Luftpumpentel das untere Ende abgekühlt haben. Wie weit diese Erklär genügend sey, läfst sich aus der Beschreibung des Versu nicht genau bestimmen; auf jeden Fall war verdünnte Luft Raume vorhanden und mufste daher von der erwärmten M aufsteigen. Wünsch[3] hat eine ausführliche Erklärung die Resultates versucht, die aber zu weitläuftig und zu wenig friedigend ist, als dafs ich sie hier mittheilen sollte. Ungle richtiger und der Sache angemessener äufsert sich de Lu

1 Essais de Physique. Genève 1790. T. I. chap. 2. Vers über das Feuer. Aus d. Franz. Tüb. 1790. 8. Die Mitglieder der A demie del Cimento befestigten zwei Thermometer, deren Kugel e zwei Zoll von einander abstanden, die Scale des einen nach ob des andern nach unten gerichtet, in eine weite Glasröhre, welch der Mitte zwischen beiden Thermometerkugeln concav eingedrü war, verlängerten die weite Röhre durch eine hinlänglich lange gere, und erzeugten vermittelst eingegossenen Quecksilbers und L kehrens ein Torricelli'sches Vacuum. In die Vertiefung der weit Röhre zwischen die Kugeln beider Thermometer wurde dann ein hitzter Metallstab gehalten, und wirklich stieg das obere Thermon ter zuerst; allein darauf liefs sich die Folgerung einer aufwärts richteten Tendenz der Strahlung nicht gründen, weil der Einflufs Wandungen nicht vermieden war.

2 Wörterbuch. Th. IV. S. 549.

3 G. XXVI. 289.

4 Journ. de Phys. 1790. Nov. p. 282. Gren's Journ. Th. S. 460.

de **Verhalten** der erwärmten Stange. ch **dasselbe** aus Naturgesetzen ge- rechtige **aber** als isolirte Erschei- ümliches **Emporstreben** des Wär- **negative Schwere** überhaupt durch t **widerlegt** werde, dafs die Wär- **müsse, gegen** welche sie vielmehr at **diese Versuche** wiederholt, in- **lstangen, jedesmal** am untern und ern **versehn,** in eine weite Glas- **inwendig oben** und unten noch ein d **sie auch** auswärts mit zwei Ther- n **dem entweder** lufterfüllten oder bis rhöhe **exantlirten** Raume den Focus en **die jedesmal** gewählte Stange fallen ser **6** Thermometer nach bestimmten te. Im Ganzen ergab sich, dafs an- ung der Luftströmungen die Stangen Wärme annahmen und später wieder ab-

r es, durch die vorliegenden Thatsachen tscheidung der Frage über die Schwere gelangen, so ist es auf jeden Fall durch rscheinlich gemacht, dafs eine wirkliche e durch die zu Gebote stehenden Mittel Zu einer nochmaligen Wiederholung die- man kaum rathen, weil der Wärmestoff ist, als dafs er überhaupt auf diese Weise önnte, mehr liefse sich von viele Wärme ei machenden Mischungen hoffen. Damit wägbarkeit selbst im Falle blofs negativer Re- nig erwiesen, als die instantane Bewegung des älteren Bemühungen, dessen Geschwindigkeit diese auf keine Weise bekannt geworden wäre, t Mittel gefunden hätte, sie in himmlischen sen. So viel läfst sich aber mit Gewifsheit be-

lli giornale di Fisica, Chimica e Storia naturale. ie versprochene Fortsetzung dieser Abhandlung finde

stimmen, dafs die Wärme keine *negative Schwere* habe, hiermit müfste zugleich eine Anziehung zur wägbaren Ma verbunden seyn oder nicht. Im ersten Falle würde es grobe Inconsequenz seyn, ihr Anziehung zur wägbaren Ma beizulegen und unsere Erde von der letztern auszuschlie im zweiten müfste sie, für sich allein der negativen Sch folgend, sehr bald unsere Erde gänzlich verlassen. Ber sichtigen wir aber die ebenso bekannte als unleugbare Th che, dafs die Wärme durch alle uns bekannte Körper fe halten wird, sofern sie keinen derselben augenblicklich ver sondern nur allmälig ausströmt, indem sie an die Umgebu übergeht, so mufs sie auch durch die ganze Erde zurückg ten werden, was man immerhin eine Gravitation nennen der Schwere vergleichen könnte. Inzwischen müfste die während der mehrern Jahrtausende, in denen nach historis Beweisen sich ihre Temperatur nicht merklich geändert sich mit der umgebenden Atmosphäre längst ins Gleic wicht gesetzt haben, um so mehr, als hierbei nicht blof gewöhnliche Ableitung der Wärme in Betracht kommt, dern auch das stete Aufsteigen der an der Erdoberfläche wärmten Luftschichten bedeutend mitwirkt. Unter diesen gebenen Umständen mufs es als räthselhaft erscheinen, daf die Erde umgebende Wärmeatmosphäre nach oben an Inter so bedeutend abnimmt. Man sucht dieses daraus zu erkl dafs die aufsteigende und dadurch dünner werdende Luft Wärme bindet; allein einestheils müfste sich dieses doch lich ausgleichen, wie denn wirklich in den höchsten ei schlossenen Räumen die obern Luftschichten allezeit wa sind, als die untern, anderntheils ist oben[2] bereits erwi worden, dafs die Temperaturabnahme in der Höhe ungleich gr ist, als sie durch diese Ursache werden könnte. Nehmen dieses alles zusammen, so führt es einfach zu dem, ke Naturgesetze widerstreitenden, mit vielen anderweitigen scheinungen aber genau übereinstimmenden Resultate, wo unsere Erde gleichsam als Träger der gesammten, ihr zug rigen Wärmemenge zu betrachten ist, die von ihr zurüc halten nach innen die gröfste Intensität hat und sie als

---

1 S. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 572 ff.
2 S. Art. *Erde.* Bd. III. S. 1043 ff.

abnehmender Dichtigkeit auf ähnliche
statische Elektricität einen geladenen
elbst unsern Erdball. Hiermach müfste
nicht selbstständig für sich existirt,
ɔern durch Attraction ebenso zurück-
den Molecülen materieller Substanzen,
phäre der absolute Nullpunct statt fin-
gen Untersuchungen[1] sehr gut über-
doch keinen Widerspruch involviren,
ıeit von Wärme im Weltraume erwei-
dann von der unserer Erde zugehöri-
tirend vorstellen müfsten. Hiervon wird
seyn. Die mitgetheilte Hypothese, wo-
e eigenthümliche, ihr zugehörende und
atmosphäre beigelegt wird, ist übrigens
von mehrern Schriftstellern bereits gele-
den, Barthol. de Sanctis[2] sucht aber aus
inungen, die mir jedoch nicht genügende
n scheinen, darzuthun, dafs die Wärme
Erde gravitire, eine Meinung, wozu sich
de Luc[3], Letzterer aus allerdings gewich-
ıe eigenthümliche, im Ganzen ungenügende,
tzenden Gründen, bekennt.

Absoluter Nullpunct.

man das Wesen der Wärme auf blofse Bewe-
dulationen zurückführt, so müfste der Zustand
ugleich das Aufhören aller Wärme, mithin die
Kälte herbeiführen, so wie der Schall und
dem Aufhören der Wellenbewegung verschwin-
iegt das oben benutzte Argument gegen diese Hy-
sie durchaus keinen genügenden Grund davon an-
m die hypothetischen Wärmewellen nie aufhören,

—

ı. Meteorologie; Atmosphäre. Bd. VI. S. 1989.
oth. Brit. T. XLVI. Journ. de Phys. T. LXXII. p. 127.
llet. des Sciences. 1811. Mai.
ın. de Phys. 1790. p. 232. Gren's Journ. d. Phys. Th. V.

sofern kein Körper absolut kalt ist, ungeachtet ihre Tempe turen so leicht und durch die verschiedensten Ursachen v stärkt und geschwächt werden. Nimmt man dagegen ei Wärmestoff an, so muſs auch eine gänzliche Abwesenheit d selben mindestens in der Vorstellung, wenn auch nicht in Wirklichkeit, existirend zugestanden werden, und so müs wohl alle diejenigen, welche von einem absoluten Nullpu reden, gröſserer Consequenz gemäſs als Anhänger eines m riellen Wärmestoffes betrachtet werden. Daſs die Nullpu unserer Thermometer keine absoluten sind, mithin über ih kein eigentliches + und unter ihnen kein wirkliches — Wärme statt finde, ersieht jedermann sofort; es fragt sich : wie tief der absolute Nullpunct unter dem Zero unserer Th mometer liegen möge, oder wie groſs die absolute Menge Wärme in Körpern von gegebener Temperatur nach irgend ner Scale gemessen seyn möge.

39) Als Wilke, Irvine und Andere die Erscheinun des specifischen und latenten Wärmestoffes beachtet hat muſsten diese Phänomene nothwendig die Vorstellung von nem vorhandenen Quantitativen erzeugen, und da sich n andern Erfahrungen die Entziehungen der Wärme ins Un stimmte steigern lieſsen, man auſserdem nicht wuſste, bis · weit die Kältegrade steigen möchten, so führte dieses alles der Frage, wie viele Grade unter dem Nullpuncte der üblicl Thermometerscalen der absolute Nullpunct oder die gänzli Abwesenheit aller Wärme liegen möge. Daſs die Beantw tung dieser Frage von hohem Interesse sey, unterliegt kein Zweifel, allein die Mittel, um zu derselben zu gelangen, s höchst schwierig und haben sehr verschiedene Resultate ge; ben. Anfänglich suchte man den absoluten Nullpunct aus Wärme zu bestimmen, die bei den Mischungen verschiede Substanzen entwickelt wird. Crawford[1] fand ihn auf di Weise bei — 821° C. Gadolin[2] nimmt im voraus an, d derselbe bei — 777° liege, Dalton[3] aber nahm, als er das Gesetz (

1 On animal Heat. p. 267. Ueber die thier. Wärme. Ueb. v v. Crell. S. 361.

2 Dalton neues System des chemischen Theils der Naturwisse schaft. Ueb. von Wolff. Th. I. S. 98.

3 G. XII. 316. Aus Manchester Mem. 1802. T. V. p. 595.

usdehnung elastischer Flüssigkeiten aufgefunden hatte, an, als die Repulsivkraft jedes Theilchens einer elastischen lüssigkeit der vorhandenen absoluten Wärmemenge proportional sey, und dafs daher die Durchmesser der repulsiven Sphä- jedes Theilchens sich wie die Kubikwurzeln des Raumes halten müfsten, den die ganze Masse einnimmt. Da sich die Luft von 55° F. bis 212° F. um 0,325 ihres Vo- ens ausdehnt, so müfsten ihre Wärmemengen sich wie $000 : \sqrt[3]{1325} = 10 : 11$ nahe genau verhalten und der abso- Nullpunct der Wärme daher bei — 1573° F. = — 874°,6 iegen, was allerdings mit Crawford's Annahme sehr ge- übereinstimmt[1].

Später hat Dalton[2] dieses Problem ausführlich unter- t, ist aber blofs dabei stehen geblieben, den absoluten punct aus den specifischen Wärmecapacitäten der Körper, sie durch Mischungen zum Vorschein kommen, abzuleiten, i er bemerkt, dafs einige Gelehrte das absolute Zero bei 0° C., andere bei — 4444° C. setzen, welcher enorme Un- ied das Vertrauen in die dabei zum Grunde liegenden pien schon im voraus gänzlich aufheben mufs. Er selbst t an, dafs, wenn w und W die Gewichte des kalten und n Körpers bezeichnen, c und C ihre Wärmecapacitäten esen Temperaturen, M die Wärmecapacität der Mischung, Anzahl der erzeugten Wärme- oder Kältegrade und x zahl von Graden bis zum absoluten Nullpuncte,

$$(cw + CW)x = (w + W)Mx \pm (w + W)Mn$$

voraus also

$$x = \frac{(w + W)Mn}{(cw + CW) - (w + W)M}$$

en werde. Um eine Anwendung dieser Formel zu zei- wählt er Wasser und Eis, beide bei 32° F. Zur Ver- ing des Eises in Wasser wird so viele Wärme erfordert, reichen würde, eine gleiche Quantität Wasser um 150° F.

---

[1] Crawford giebt diese Gröfse verschieden an. Die hier und genommene ist — 1532° F., nach Henry aber beträgt sie nur . S. G. XII. 561. XIV. 287.

[2] Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. on Wolff. Berl. 1812. 2 Th. 8. Th. I. S. 96 ff.

wärmer zu machen, und da die Wärmecapacitäten beider Kör-
sich wie 9 : 10 verhalten, so giebt die Formel den Werth
x oder den absoluten Nullpunct = 1500° F. = 833° C. u-
ter dem Gefrierpuncte des Wassers. Dalton hält dieses R-
sultat nicht für genau, weil die Wärmecapacitäten der bei-
Körper nicht mit gehöriger Schärfe bestimmt seyen. Er le-
daher den absoluten Nullpunct aus andern Mischungen her, n-
mentlich aus der von Schwefelsäure und Wasser, Kalk u-
Wasser, Salpetersäure und Kalkerde; ferner aus dem Verbr-
nen von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas, von Phosphor, Ho-
kohlen, Oel, Wachs, Talg, Aether u. s. w. Um zu zeig-
wie wenig Vertrauen diese Methode einzuflöfsen im Sta-
sey, setze ich die durch Mischung von Schwefelsäure u
Wasser in verschiedenen Verhaltnissen aus Gadolin's Vers-
chen erhaltenen, unter sich ausnehmend abweichenden Result-
nach Fahrenheit's Scale einzeln her, wobei W und w nach
obigen Formel die Gewichte der Säure und des Wassers b-
zeichnen, die specifische Wärme des Wassers aber = 1 u
die der concentrirten Schwefelsäure = 0,339 angenommen w-
den ist.

W	w	n	M	x
4	1	194°	0,442	2936° F.
2	1	203	0,500	1710 —
1	1	161	0,605	1510 —
1	1	108	0,749	2637 —
1	1	51	0,876	3230 —
1	1	28	0,925	1740 —

Das Mittel aus allen diesen Resultaten ist 2300° F. oder 1277°
Dalton's eigene Versuche geben unter einander minder a-
weichende Resultate. Zuvor wurde die specifische Wärmec-
pacität der stärksten, hierbei angewandten Schwefelsäure v
1,855 spec. Gewicht = 0,33 gefunden, und p bezeichnet da
das spec. Gewicht der Mischung; die übrigen Bezeichnung
wie oben.

W	w	p	n	M	x
5,77	1	1,78	160°	0,420	6400° F.
1,60	1	1,52	260	0,553	4150 —
1,00	2	1,25	100	0,764	6000 —

Alle Versuche, wobei n kleiner ist, als 100° F., hält Dalt

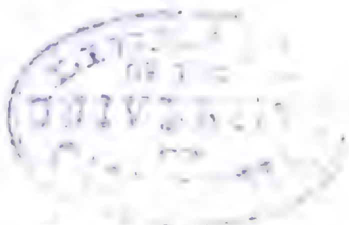
rschied zwischen der beobach-
ınd der mittleren Capacität zu
/ersuchen ein gleiches Gewicht
'erth von x = 5517° F. oder
ch DALTON erhaltene Gröfsen
höchst abweichende Resultate

. . . .	1500° F.
sser . .	2300 —
. . . .	5517 —
. . . .	4260 —
. . . .	15770 —
. . . .	11000 —
ases . .	5400 —
hle . .	6000 —
. . . .	6900 —
ors . .	5400 —
. . . .	6000 —

5368° F. oder 3537° C., DAL-
ihm aufgenommenen Werthen
C., setzt dieses auf 6000° F.
: dadurch der Wahrheit min-
seyn.

Bestimmung des absoluten Null-
r Luft wurden Einwendungen
rch höhere Wärmegrade weni-
hne, wie DALTON selbst ge-
terer widerlegt diese durch das
s Quecksilberthermometers die
ht genau mäfsen, ein oft ven-
Erörterung jedoch nicht hierher
ungen erhaltenen Resultate ver-
weil gute und schlechte Beob-
eyen, und überhaupt bei Ver-
irkungen der verschiedenen zu-
nder in Conflict kämen, deren

221.



Einfluſs sich nicht wohl sondern lasse. Allerdings ist die g
Ungleichheit der einzelnen Bestimmungen höchst auffallend,
Benzenberg glaubt sogar, daſs Dalton die aus Wasser
Eis gefundene Gröſse vernachlässigt, eine Bestimmung aus W
ser und Dampf aber gar nicht gesucht habe, weil er im v
für die Gröſse — 6000° F. eingenommen gewesen sey. B
zenberg giebt dagegen der Methode, den absoluten Nullp
aus den Wärmecapacitäten zu berechnen, einen entschied
Vorzug. Ist demnach die Capacität des Eises c = 90,
Capacität des Wassers C = 100, die Menge der Wärme,
che durch den Uebergang des Eises zu Wasser versch
wird, n = 66°,6 R. und x der Abstand vom absoluten N
puncte in Graden derselben Scale, so ist Cx — cx = Cn

$$\text{also } x = \frac{Cn}{C - c} = 666° \text{ R.} = 832°,5 \text{ C.}$$

und werden hiervon die 66° R., die beim Gefrieren frei we
abgezogen, so folgt das absolute Zero = 600° R. = 750° C. W
auf gleiche Weise die Capacität des Wassers c = 100,
des Dampfes = 155 und die Menge der latent werdenden W
me n = 420° R. gesetzt wird, so hat man

$$x = \frac{Cn}{C - c} = \frac{155 \times 420}{155 - 100} = 1184° \text{ R.}$$

Hiervon 420°, die beim Dampfe latent werden, und 66°,
beim Wasser latent werden, endlich die 80° vom Siedep
des Wassers bis zum Gefrierpuncte desselben abgezogen,
den absoluten Nullpunct bei — 618° R. oder — 772°,
Eis und Wasserdampf giebt auf gleiche Weise

$$x = \frac{Cn}{C - c} = \frac{155 \times 486,6}{155 - 90} = 1160° \text{ R.},$$

wovon 420° und 66° und 80° abgezogen 594° R. = 74
C. geben. Aus dem Verhalten des Wassers in diesen
Fallen geht also in nicht sehr von einander abweichenden
sultaten die mittlere Bestimmung des absoluten Nullpuncte
604° R. oder 755° C. hervor. Um die Zulässigkeit dieser
thode weiter zu prüfen, müſsten auch mit andern Körpern
suche angestellt werden, und Benzenberg erwartete hie
allerdings Uebereinstimmung, wenn nur die zur Berech
erforderlichen Gröſsen mit hinlänglicher Sicherheit ausgem
wären; allein dieses ist bis jetzt noch nicht thatsächlic
wiesen. Uebrigens ist das Princip, worauf diese Bestim

die Zulässigkeit desselben läfst
einwenden, vorausgesetzt, dafs
destens bei diesen Versuchen
ärme auf das Thermometer zum
auf quantitativer Vermehrung
ollte sich dagegen erweisen las-
n scheint, dafs es auch andere,
ende, Wirkungen der Wärme
Zulässigkeit des aufgestellten
t werden, und auf jeden Fall
diese Bestimmung unzulässig,
nische Thätigkeiten solche Un-

gen, an welche FLAUGERGUES[1]
Nullpunctes knüpft, setze ich
nach ist das Verhältnifs der ab-
Wassers zu der des schmelzen-
welches die Proportion giebt:

= 80° : 215°,241,

n $\frac{1}{5000}$ für jeden Grad R. aus-
llpunct 209° R. oder 261°,25 C.
lzenden Eises. DESORMES und
altreichen Untersuchungen über
ten der Gase gleichfalls den ab-
n gesucht. Nach ihrer Ansicht
mperatur im reinen Raume den
Wärmemengen proportional. Ist
e des Raumes für zwei Tem-
., gegeben, deren Unterschied
sultaten ihrer Versuche bekannt,
Raum von 18° dringend bis 102°,
um von gleichfalls 98° erfüllend,
acität bis 132°,24 erwärmt wurde,
rschied der im Raume befindli-
18 = 80° in der Luft bei glei-
on 132,24 — 102 = 30°,24 C.

II. p. 290.
. 343.

erzeugt. Nennen wir also x die absolute vorhandene Wärmemenge bei 18°, so erhalten wir die Proportion:

$$x^0 : 80^0 = 102^0 : 30^0{,}24,$$

woraus x = 269°,8 folgt. Man gelangt durch folgende Betrachtung zu einem gleichen Resultate. Die Temperaturen verhalten sich umgekehrt, wie die Wärmecapacitäten. Hiernach verhält sich die des Raumes zu der der Luft, wie das Maximum der erhaltenen Wärmevermehrung zu der absoluten Temperatur. Die bei 12°,5 angestellten Versuche gaben die für diesen Ausdruck erforderlichen Werthe, nämlich

$$400 : 100 = 112^0 : x,$$

woraus x = 280° gefunden wird und also die vorhandene absolute Wärme für den Punct des schmelzenden Eises 280° — 12°,5 = 267°,5 C. betragen mufste. Die später zu erwähnende, aus der Ausdehnung der trocknen Luft gefundene Gröfse ist bekanntlich[1] — 266°,66, und es mufs dabei auffallen, dafs beide aus dem Verhalten der Luft erhaltene Bestimmungen ebenso genau mit einander übereinstimmen, als die drei aus dem Verhalten des Wassers und Dampfes durch Benzenberg entnommenen.

42) Suckow[2] bleibt ganz einfach bei dem eben erwähnten, durch Dalton gleichfalls in Anwendung gebrachten Satze stehen, dafs der absolute Nullpunct aus den specifischen Wärmecapacitäten abgeleitet werden könne. Diesem gemäfs setzt er die des Eises = 0,9, wenn die des Wassers = 1 ist, und da das Eis bei seinem Uebergange zum Wasser 140° F. Wärme verschluckt, so müsse die Wärmemenge im Wasser bei 32° F. 10 × 140° = 1400° F. oder 777° C. betragen; man hat jedoch das Princip, worauf diese Bestimmung gegründet ist, nicht für zulässig erkannt, und auf jeden Fall ermangeln die hierbei zum Grunde liegenden Gröfsen der erforderlichen Genauigkeit.

43) Zur Bestimmung des absoluten Nullpunctes habe ich selbst das Verhalten des Wasserdampfes benutzt. Bekanntlich

1 Den unbedeutenden Unterschied, welcher aus Rudberg's neu aufgefundenem Coefficienten der Ausdehnung trockner Luft hervorgeht, glaube ich hier nicht beachten zu müssen. Vergl. *Wirkungen d. Wärme.*

2 Anfangsgründe der Physik und Chemie. Bd. I. §. 620.

t die Summe der latenten und sensibeln Wärme in demsel-
n = 640° C., und wenn er daher die Temperatur des ge-
renden Wassers hat, mithin das Thermometer keine positiven
nde sensibler Wärme anzeigt, so beträgt seine latente Wär-
e 640°, worauf man den Schlufs bauen könnte, dafs der ab-
lute Nullpunct der Wärme nicht höher, als diese Gröfse
gen könnte[1]. Bei der Aufstellung dieses Satzes ist sogleich von
r bemerkt worden, dafs derselbe nicht über alle Einwendungen
oben sey, und wirklich ist er auch durch BRANDES[2] im All-
ennen als zweifelhaft angefochten worden; merkwürdig ist aber,
s diese Bestimmung mit den durch DALTON und BENZENBERG
dem Verhalten des Wassers gefundenen sehr nahe über-
timmt. Die Aufgabe führt genau erwogen zu folgenden
achtungen. Könnte zuvörderst auf diesem Wege der ab-
te Nullpunct der Wärme ausgemittelt werden, so müfste
latente Wärme in den Dämpfen aller verschiedenen tropf-
n Flüssigkeiten gleich seyn, sofern jene Bestimmung vor-
tzt, dafs dadurch die ganze Menge vorhandener Wärme
genommen werde und also überhaupt keine mehr vorhanden
Da aber die Summe der latenten Wärme in den ver-
denen Dämpfen, jeder bei 0° C. Temperatur genommen,
ich ist[3], so liegt hierin ein bedeutendes Argument gegen
Zulassigkeit des ganzen Satzes. Derselbe läfst sich aber
aufserdem auf folgende Weise anfechten. Die latente
ne von 640° C. des Wasserdampfes bei der Temperatur
schmelzenden Eises ist nach der gangbaren Theorie die
e der Wärmemoleciile, welche die Molecüle des Wassers
ben und sie im Zustande der Expansion erhalten. Denkt
diese als weggenommen, so würden die Molecüle des
ers einander so nahe kommen, dafs sie eine tropfbare Flüssig-
ildeten, die aber noch 75° C. Wärme abgeben müfste,
Eis verwandelt zu werden, welches dann aber noch eine
tende Wärmemenge bis zum absoluten Nullpuncte ent-
mufs. Die Bestimmung des absoluten Nullpunctes würde
ernach blofs auf dem Aggregatzustande des Wasserdam-
eruhn, was offenbar unzulassig ist.

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 297.
2 Recension meines Handbuches. In Leipz. Lit. Z. 1829.
3 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 291.

44) Diese Betrachtungen geben einen sehr guten Anh punct zur Beurtheilung der sonst versuchten Lösungen d ses Problems. JOH. TOB. MAYER[1] nimmt an, der absol Nullpunct liege 266°,25 C. unter dem Puncte des schmelzen Eises, eine Gröſse, die aus den Gesetzen der Ausdehnung pansibeler Flüssigkeiten durch Wärme entnommen ist und her mit den sonstigen, ebendaraus abgeleiteten Bestimmun genau übereinstimmt. DESORMES und CLÉMENT[2], indem sie dem durch GAY-LUSSAC gefundenen Gesetzen ausgingen, daſs expansibelen Flüssigkeiten sich um 0,00375 ihres Volum durch jeden Centesimalgrad Wärme ausdehnen, und dieses setz durch eigene Versuche bei den Luftarten sowohl, als a bei Wasserdampf bestätigt fanden, glaubten, daſs dieses V halten durch die Wesenheit der Gase bedingt seyn müsse daſs also, da dieselben sich für 1° C. um $\frac{1}{266,66}$ ihres Vo mens ausdehnen und von 0° C. ausgehend sich um ebe viel zusammenziehen, die Grenze dieser Zusammenziehung $\frac{266,66}{266,66}$ liegen müsse, folglich tiefer herab keine weitere Zusa menziehung und keine weitere Erkaltung möglich sey. Hi nach fällt also der absolute Nullpunct bei — 266°,66 C. argumentiren ferner auf folgende Weise. Nimmt man ein V lumen Gas bei 0° C. als Einheit und dehnt sich dieses du 1° C. um $\frac{1}{266,66}$ seines Volumens aus, so wird es bei 266° das doppelte Volumen einnehmen. Hiernach ist also die Me der Wärme, welche das Volumen des Gases um die Einh vermehrt, genau so groſs, als diejenige, welche die ursprün lich vorhandene Einheit giebt, und da für die Wärme im Volum = 2 die von 0° C. hinzugekommene 266°,66 beträgt, so m in der ursprünglichen Einheit des Volumens gleichfalls e Menge Wärme = 266°,66 enthalten seyn. Hiernach betr also die in der Luft bei 0° Temperatur enthaltene Wär 266°,66 und der absolute Nullpunct liegt also bei — 266° der Centesimalscale. Es ist allerdings auffallend, daſs di Gröſse mit der oben nach einer andern Methode gefunden

---

1 Comment. de vi elast. vaporum cet. p. 29.
2 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 324.

= − 267°,5 C. so genau übereinstimmt; allein beide sind auf ... Verhalten der Luft gegründet. Nachdem aber LAPLACE[1] ... gleichfalls dafür erklärt hatte, dafs auf diese Weise der ...solute Nullpunct gefunden werde, wurde dieser Satz als un...streitbares Axiom angenommen, und die Physiker gebrauchten ...her allgemein die Bestimmung von — 266°,67 zur Bezeich...ng eines Zustandes gänzlicher Abwesenheit aller Wärme. ...t man mit RUDBERG die Ausdehnung der trocknen Luft ... 1° C. im Mittel = 0,00363, so giebt $\frac{1}{0,00363} = 275$ den ...oluten Nullpunct der Wärme bei — 275° C., welcher Un...chied nicht sehr bedeutend ist.

45) Wie allgemein man auch diese Bestimmung als genü...d angenommen hat, so führt doch die oben angestellte Be...htung sehr einfach auf diejenigen Argumente, welche die ...tigkeit derselben darthun. Die aufgefundene Gröfse von ...,67 (um bei dieser bisher üblichen stehen zu bleiben) ist ...ts weiter, als das Mafs derjenigen Wärme, welche dem ge...nen Volumen der Luft bei gleichbleibendem äufseren Drucke ...hört und, man möge sagen, dieses bedingt. Wird die ...ne eines gegebenen Luftvolumens, von irgend einem Puncte ... Thermometerscale ausgehend, um 266°,66 C. vermehrt, ...rd dasselbe bis zum zweifachen ausgedehnt, und hätte ...daher, da die Thermometergrade unter 0° der Centesimal... keine absolut negativen sind, ein Luftvolumen bei — 266°,66 ... würde dasselbe durch Hinzukommen von 266°,66 C. zum ...lten wachsen, dieses neue Volumen bei 0° C. aber wie...s Einheit genommen würde durch das Hinzukommen von ...66 abermals bis zum doppelten vermehrt werden. Hier...müfste also ein Luftvolumen bei 0° C. durch Entziehung ...66°,66 C. auf die Hälfte herabsinken, ohne dafs hieraus ...bergang in einen andern Aggregatzustand, als den expan...s, folgte. Nach der Analogie vieler Naturerscheinungen ...ber jede expansibele Flüssigkeit durch Entziehung einer ...glichen Wärmemenge zuerst tropfbar-flüssig werden und ... oder auch unmittelbar, in den Zustand der Festigkeit ...hn, ohne in einem von diesen Zuständen ganz frei ...Wärme zu seyn. Nicht blofs der Erfahrung gemäfs, son-

[1] Mécan. Cel. T. V. p. 92 u. a. a. O.

dern auch nach jeder Theorie der Wärme, namentlich aber n der, wozu sich LAPLACE bekennt, mufs jeder Körper du Entziehung aller Wärme nicht blofs in den Zustand der I stigkeit übergehn, sondern auch seine absolut gröfste Dicht keit erhalten. Die Täuschung bei dem Principe, nach welch der absolute Nullpunct gefunden ist, liegt also darin, dafs da blofs diejenige Wärme aufgesucht wird, welche das Volun der Gasarten unter gleichbleibendem Drucke bedingt, ohne da die nothwendig eintretende Veränderung des Aggregatzustan zu berücksichtigen.

46) Hieraus folgt nach meiner Ueberzeugung unwid sprechlich, dafs auch die, namentlich von den französisel Physikern und wohl allgemein mit so grofsem Beifall auf nommene, Bestimmung des absoluten Nullpunctes ungenüge ist, und somit bleibt also auch dieses wichtige Problem ei künftigen Lösung vorbehalten. Unter den verschiedenen M thoden, welche zur Beantwortung der vorliegenden Frage ang wandt worden sind, scheint mir die von BENZENBERG, nach d Vorgange der früheren Physiker, gewählte den Vorzug zu verd nen, weil sie einen hierzu vorzugsweise geeigneten Körp das Wasser, in seinen drei verschiedenen Aggregatformen zu Grunde legt, und ich glaube, dafs hiernach der absolute Nu punct weit richtiger bei — 600° R. oder — 750° C. un dem Gefrierpuncte des Wassers im genäherten Werthe gese wird[1], als nach der fast allgemein üblichen Bestimmung bei 266°,67 C.

D. Ursprung der Wärme.

47) Alle Körper haben, ohne den Einflufs specieller Urs chen, die Temperatur ihrer Umgebung, d. h. die Aeufsern

1 Dürfte man diese Bestimmung als genau betrachten, so betru die *Höhe der Atmosphäre* nach Bd. VI. S. 1995 = (750 + 25) × 6 Fufs = 20 geogr. Meilen, und etwas geringer, wenn man eine mit d Höhe wachsende Abnahme der Wärme in Folge einer gewissen Gr vitation derselben gegen die Erde annehmen wollte, eine mit ande weitigen Thatsachen wohl vereinbare Bestimmung. Die Dichtigkeit d Luft würde nach dem Mariotte'schen Gesetze dort etwa 2 Hunder milliontel betragen, was man als eine verschwindende Gröfse betrac ten kann. Vergl. Bd. I. S. 451.

sensibele Wärme nennen könnte, eise sinnlich wahrgenommen wird, kommen gleich, wie dieses noth- 'enn man einen elastisch-flüssigen sich daher nach allen Seiten hin ıer die absolute, in ihnen dann ir hiernach nicht urtheilen, theils ınnet der Wärme nicht bekannt 'ser bekannt wäre, die specifische lenen Körper einen Unterschied ber nimmt diese Aeufserung ihrer en die Körper hiernach wärmer afs sie mehr oder weniger Wärme n. Beide Zustände können nur , dafs sich entweder die Wärme ckelt, oder dafs sie ihnen von für die Erkaltung das Entgegen- wir vorläufig die Zuführung und ıgeben oder Entziehen derselben ıichtigt (wobei zugleich die Ge- rme von einem Körper zum an- welches gesammte Verhalten in *Wärmeleitung* untersucht wer- verschiedenen Arten der Wärme- ıtclassen bringen: 1) durch die ısammendrückung und Reibung; er Stoffe, kurz ausgedrückt durch ischen und animalischen Lebens- Wir wollen diese verschiede-

g durch die Sonne.

ıe, oder überhaupt das Sonnen- sie direct oder nur nach Refle- d zwar eine ihrer Intensität stets unmerkliche, wenn sie durch die r geschwächt sind. Um daher s Lichtes noch stark genug zur e von Wärme sey, dient haupt-

sächlich Leslie's *Differentialthermometer* von der oben be-schriebenen Construction[1], wodurch man sich überzeugen ka dafs selbst das blofse Tagslicht in nördlich gelegenen Zimme also ohne directen Einflufs der von der Sonne unmittelbar a fallenden Strahlen, noch eine geringe Vermehrung der Tem ratur bewirkt.

Dafs die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen nach Durchsichtigkeit des Mediums, durch welches sie dringen, der Beschaffenheit der Körper, auf welche sie fallen, versch den sey, ist allgemein bekannt. Wenn wir von allen die Bedingungen abstrahiren, so ergiebt die Erfahrung, dafs Menge der erzeugten Wärme der Menge der in gleichen Z ten auffallenden Lichtstrahlen oder der Gröfse der sie auffa genden Fläche proportional sey[2]. Die Intensität der erze ten Wärme kann daher ausnehmend vermehrt werden, we man die Summe der auf eine gegebene Fläche fallenden So nenstrahlen auf eine ungleich kleinere concentrirt, worauf Wirkung der Brennlinsen und Brennspiegel gegründet is Diese Verkleinerung beruht auf der Brennweite der Spiegel o Linsen und beträgt den 215. Theil derselben[4], oder = 0,004 f, wenn f die Brennweite bezeichnet. Heifst demnach die I tensität der durch frei auffallende Sonnenstrahlen erzeug Wärme i, der im Brennraume I, die Chorde der Linse o des Spiegels D, so ist

---

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 994.

2 Nach Fourier in Ann. de Chim. et Phys. besitzen alle Planet Wärme, die sie aus dem Weltraume oder durch die Sonnenstrah erhalten. Sie ist der Entfernung von der Sonne umgekehrt propo tional und manchen andern Bedingungen unterworfen. An den Pol ist daher bei allen Planeten die Wärme gleich und beim Uranus die ganze Oberfläche nicht wärmer. Die Richtigkeit dieser Behaupto möge auf sich beruhn.

3 Richmann stellte unlängst eine Reihe von Versuchen an, das Verhältnifs der Hitze im Lichtkegel hinter Brennlinsen in ve schiedenen Entfernungen von der Glasfläche aufzufinden, allein es g lang ihm wegen der grofsen obwaltenden Schwierigkeiten nicht, wed hierüber noch über das Verhältnifs der blofsen und der durch Lins concentrirten Sonnenstrahlen hinsichtlich ihrer erwärmenden Kraft z einem sicheren Resultate zu gelangen. S. Nov. Comm. Soc. Petro T. III. p. 340. T. IV. p. 277.

4 Vergl. *Brennraum*. Bd. I. S. 1216.

$\frac{2}{3)^2 f^2} - k,$

:ichnet, welcher aus den Bedin-
ıthwendig hervorgeht. Die er-
ılen ist nach den verschiedenen
50), inzwischen wird man sich
tfernen, wenn man sie zu 10°
ch eine 9zollige Linse, deren
würde sich schon damit eine

· = 28900° C. — k herausstel-

Vahrheit nicht merklich entfer-
ser des Brennraumes = 0,01 f
hr erleichtert wird; allein die
ı genäherıem Werthe bestimm-
bloſs die Menge des Lichts in
ıe des Spiegels oder die Sub-
l die man füglich mindestens auf
uch diejenige, die aus der Be-
aumes nothwendig hervorgeht[3].
h manche berühmte Brennspie-
ı[4], so bleiben doch ihre Wir-
isch gefundenen zurück. Um
zu vermeiden und dennoch die
pflegt man hinter der gröſseren
beider Axen in einer geraden
e solche verfertigte neuerdings
vissen Parker, die groſse von
6 Z. Durchmesser, im Rahmen
deren Wirkung zwar überra-
:nallgasgebläses nachstand. Sie
[5].
der Sonnenstrahlen ist unter

in Lambert's Pyrometrie. S. 159.
velchen die besten Linsen in den
S. dessen Mémoire sur la chaleur

spiegel. Bd. I. S. 1205. 1217.
Taf. 107.

günstigen Umständen, selbst wenn sie nicht durch Brennl
oder Brennspiegel concentrirt sind, ausnehmend grofs. U
zu messen, hat der jüngere HERSCHEL[1] einen eigenen Ap
das *Aktinometer* (von ἀκτὶν der Strahl und μετρέω ich m
erfunden. Dieses noch nicht allgemein in Gebrauch ge
mene Instrument ist ein Thermometer mit sehr grofsem c
drischen Behälter und einer in willkürliche Theile geth
Scale, an welcher auch die kleinsten Veränderungen w
nehmbar werden, weswegen das Gefäfs mit einer Schraube
sehen ist, damit durch deren Herunterlassen die Flüssigke
der Röhre wieder herabsinkt, um nicht überzufliefsen.
Gefäfs von farblosem Glase ist mit einer intensiv blauen F
sigkeit gefüllt, damit die eindringenden Sonnenstrahlen
Fig. von innen erwärmen[2]. Die an die weitere Röhre angeschm
87. engere ist eine etwas weite Thermometerröhre, an deren ob
Ende sich eine in eine feine Spitze ausgezogene Kugel befi
in welche die Luft dringen kann. Am untern Ende des
ten Cylinders ist eine Messinghülse angekittet, durch we
eine gut schliefsende Schraube mit einem kleinen Embolus g
welcher dazu dient, die Flüssigkeit mehr in die Höhe zu
ben. Die im Cylinder befindliche Flüssigkeit scheint
KÄMTZ eine dunkelblaue Solution irgend eines Kupfersalzes
seyn[3]. Wird die Spitze der obern Kugel, worin sich
befindet, mit etwas Wachs verschlossen, so hat man ein
empfindliches Thermometer, welches man mit einer Scale
sieht und in einem inwendig geschwärzten, durch eine S
gelglasplatte gegen den Luftzug gesicherten Kasten befest
Vermittelst der Schraube und des Embolus kann man bei j
äufsern Temperatur den Stand der Flüssigkeit so reguliren,
sie weder in den Cylinder herabsinkt, noch in die Kugel hina
steigt, wobei zugleich dafür gesorgt werden mufs, dafs sich k
Luftblasen in der Flüssigkeit eingeschlossen befinden, wo
man sich am besten durch einige Neigung des Instrum

---

1 L'Institut. 1834. N. 74. Poggendorff's Ann. XXXII. KÄMTZ Meteorologie Th. III. S. 15. Ein hiervon verschiedenes, du POUILLET angegebenes Aktinometer wird später beschrieben werden.

2 Diese Apparate werden von ROBINSON in London, Devonshi Street, Portland-Place verfertigt.

3 In der Regel schwefelsaures Kupferammoniak. S. Lond. Edinb. Phil. Mag. N. XCV. p. 207.

orhanden, so entfernt man sie
so lange in die Höhe schraubt,
nit zugleich die Luftbläschen
ıuf man den früheren Stand,
ıeterröhre ungefähr bis in die
e Sonnenstrahlen müssen loth-
ımit der aliquote, durch diese
ets gleich bleibt, eine Bedin-
ötzchen leicht erreicht wird,
er unter sich parallelen Seiten
. Um mit dem Aktinometer
zuvor eine Minute im Schat-
n, damit es die Temperatur
ənso lange den Sonnenstrahlen
;e im Schatten liegen lassen.
ı ersten und zweiten Stande
dieses vom Stande desselben
Mafs für die Einwirkung der
Nach vielen Versuchen hat
ig und sehr empfindlich be-

:s auf eine normale Gröfse zu-
en Ausdruck *Aktine* vorge-
ıme er wünscht. Multiplicirt
ıst das Product die Strahlung
lung, welche bei senkrechtem
reichen würde, um in einer
ht von einem Milliontel Meter
ihr in horizontaler Lage aus-
Erläuterung führt er folgendes
Instrumente 36,4 Scalentheile
422,04 Aktinen giebt. Eine
; würde in 1 Minute 0,00022204
ıelzen, oder in einem mittle-
in einem Sideraljahre 338,16
rde beträgt viermal den Durch-

ısung zum Gebrauche dieses In-
antarktischen Expedition ertheilt
Mag. N. XCV. p. 207—214.

schnitt des auf sie fallenden Sonnenstrahlencylinders, und da wirklich von der Erde empfangene Wärme gröſser ist, als je an ihrer Oberfläche beobachtete Maximum, so folgt, daſs jährlich auf unsere Erde fallende Sonnenwärme wenigstens über ihre Oberfläche verbreitete Eisschicht von 84,54 F. schmelzen vermögen würde, wodurch zugleich ein Maſs Gesammtwirkung der Sonnenstrahlen gegeben ist.

50) Daſs die im Kasten erzeugte Wärme hierbei von E fluſs sey, unterliegt keinem Zweifel; inzwischen ist dieser E fluſs ein constanter, welcher bei einem bloſs unter sich gleichbare Resultate gebenden Apparate nicht nachtheilig s kann, vielmehr nur die Empfindlichkeit desselben erh Schon viel früher hat de Saussure[1] ein ähnliches, jed minder geeignetes, Instrument gebraucht, um die erwärme Kraft der Sonnenstrahlen zu messen, und ihm den Namen *liothermometer* gegeben. Dasselbe bestand aus einem Käste von tannenen 0,5 Z. dicken Bretchen, im Innern 1 F. lang, breit und ebenso hoch. Der ganze innere Raum war mit schwärzten, 1 Z. dicken Korkscheiben ausgefüttert und wu dann durch drei in Falzen verschiebbare, sehr durchsich Glasscheiben verschlossen, welche in einem Abstande von 1,5 von einander eingeschoben wurden. Im Innern befand ein Thermometer, welches den gerade auffallenden Sonn strahlen ausgesetzt war. Bei einem auf dem Gipfel des C mont angestellten Versuche stieg nach mehreren Stunden innere Thermometer bis 87°,5, ein zweites, auſsen am Kä chen befestigtes, bis 26°,2, ein drittes aber, 4 Fuſs über d Boden den Sonnenstrahlen ausgesetztes, nur bis 6°,2. U Unterschied beider Apparate besteht hauptsächlich darin, d im letzteren die Wärme sich in der längeren, mehrere Stun betragenden Zeit anhäufen soll, bis sie ihr Maximum errei hat, wobei aber die gleichzeitig statt findende Abkühlung auſsen sich nicht allezeit gleich ist, nicht zu rechnen, d während der langen Dauer des Versuches leicht anderwei modificirende Bedingungen eintreten können. Am wenigs durch unbestimmbare äuſsere Einflüsse bedingt sind die v Pouillet[2] mit seinem *Aktinometer* (§. 95) angestellten Ve

1 Reisen durch die Alpen. Th. IV. S. 109. §. 932.

2 Mémoire sur la Chaleur solaire. Par. 1838. 4. p. 48.

nach den verschiedenen Verhält-
rahlen erzeugte Wärme die der
treffen kann. Dagegen sah Ro-
pparate, als dem von DE SAUS-
ıometer in den Sonnenstrahlen
bis 114° C. und dem Scheine
ıetzt bis 100° C. steigen. Ue-
ıenden Angaben über den Un-
· in den Sonnenstrahlen und im
senschaftlichen Werth, da sie
ühren, weil stets neue einfluſs-
Dahin gehört, daſs die metal-
rs die Lichtstrahlen weit mehr
geistes; bei beiden Arten von
Durchsichtigkeit des Glases der
ıdlich der Wind, welcher die
ıuern Versuche dieser Art ge-
in groſser Menge angestellten,
ingung berücksichtigt ist. Als
ıen, daſs die Jahreszeiten kei-
den Unterschied der Thermo-
Schatten äuſsern, wohl aber die
Richtung zu den auffallenden
vollkommener Windstille war
9, im Sommer 10°,94 C.

Beitrag zur Bestimmung der
ahlen verdanken wir den Be-
lieſs sich von dem bekannten
gleiche biconvexe Linsen von
Brennweite verfertigen, faſste
gen durch Charniere bewegli-
mit einem genau 3,5 Z. wei-
, um durch sie zwei Licht-
erhalten. Hinter den Schirm
ı zwei flache, gleichfalls völlig

I. p. 256.
s. T. LXI. p. 82. Aus Mém. de

gleiche Behälter von Messingblech, deren Seiten 3 Z. 10,5 Durchmesser hatten, während die Dicke des eingeschloss mit Wasser gefüllten Raumes 0,5 Z. betrug. Sie waren wärts blank polirt, die eine Fläche aber mit Lampenrufs i zogen; die Quantität des Metalles und des eingegossenen sers war bei beiden gleich; auch enthielten beide mög gleiche, in das Wasser eingesenkte Thermometer. Beide fäſse stellte er in ungleicher Entfernung so hinter die Li daſs durch gehörige Bewegung des Apparats die Axen Lichtkegel anhaltend auf die Mitte der geschwärzten Fl fielen, und maſs die Zeiten, in welchen ihre Temperature zu gleichen Graden stiegen. Hierbei zeigte sich, daſs Gefäſse in gleichen Zeiten gleiche Zunahmen der Wärm hielten, die Durchschnittsflächen der auffallenden Licht mochten gröſser oder kleiner seyn, z. B. bei einem Vers als der Durchmesser des Sonnenbildes auf der einen F 6 Lin., auf der andern 24 Lin. betrug; ja es war dieses der Fall, als das eine Gefäſs 1 Zoll diesseit, das andere jenseit des Brennpunctes stand; als aber die eine Linse genommen war und ein dem früheren gleicher Lichtkegel fiel, war die erzeugte Erwärmung ungleich stärker[1]. Rumi zieht hieraus den Schluſs, daſs die Quantität Wärme, welche die Sonnenstrahlen erregt und mitgetheilt wird, unter Umständen der Quantität Licht gleich ist, die verschluckt Diesemnach ist also, wie oben bemerkt wurde, die abs Menge der durch Brenngläser und Brennspiegel erzeugten W kleiner, als die durch freie Lichtcylinder von gleicher Gr fläche hervorgebrachte, und die bloſs scheinbare Vermel ist Folge der starken Concentrirung auf einen ungleich kl ren Raum. Hier kann auch noch die durch Flaugerg bei Gelegenheit der Sonnenfinsterniſs im J. 1820 gemachte B achtung erwähnt werden, wonach die Sonnenstrahlen eine che erwärmende Kraft besitzen, sie mögen vom Rande aus der Mitte der Sonne kommen.

52) Um die verschiedenen Bedingungen, welche in

---

1 Aus Melloni's demnächst zu erwähnenden Versuchen folgt ses nothwendig, denn das Glas ist in einem weit höheren Grade phan als diatherman (§. 311).

2 Journ. de Phys. T. XCII. p. 435.

Värme durch die Sonnenstrahlen
htlicher darzustellen, wollen wir
eit sie sich von einander abge-

Bedingungen ist die *Höhe der*
n hiernach gerader oder schiefer
auf der Erdoberfläche erzeugte
threcht oder in einem gewissen
nnenstrahlen, so hat L. EULER[1]
graden erzeugte durch Berech-
l schon HALLEY[2] hat den Wech-
nen Jahreszeiten bestimmt; allein
nde Dicke der Luftschicht, wel-
erem Auffallen zu durchdringen
HALLEY liefs diese Bedingun-
die Wirkung der Sonnenstrah-
dem er dieselbe mit dem Stofse
glich, dem Sinus des Winkels
den gestofsenen Flächen bilden.
und ein Element des Stunden-

h ∂t.
eines Ortes und δ die Abwei-
n Tagebogen, so giebt das In-
ruck:
+ Sin. φ Sin. δ Cos. t,
nne unter dem Aequator in den
Tagebogen = Sin. t Cos. δ = 1
= 2 seyn würde. Da aber nicht
llswinkels proportionale Stofs der
die Menge der in einem gegebe-
Sonnenstrahlen zu berücksichtigen
Sinus des Einfallswinkels pro-
die Wirkung der Sonnenstrahlen
Einfallswinkels oder dem Qua-
proportional. Diesemnach wäre
nstrahlen, wenn sie unter dem

82.
. XVII. p. 378.

Luft erleiden, und fanden dann, dafs selbst bei dem heiter Wetter dieser Verlust für eine Luftschicht von 6000 Fufs Di nicht weniger als 0,2 beträgt. In gleichen Erhebungen ü der Meeresfläche wechselt die Intensität der Sonnenstrah nicht selten sehr bedeutend, ohne dafs eine veränderte Trüb in solchem Grade wahrnehmbar wird, als man erwarten sollt

54) c) Die dritte, bei weitem bedeutendste und am län sten bekannte Bedingung, wovon die erwärmende Kraft Sonnenstrahlen am meisten abhängt, ist die *Beschaffenheit u hauptsächlich die Farbe* der Körper, worauf sie fallen. A gemein bekannt ist zuerst, dafs sowohl die Lichtstrahlen, auch die Wärmestrahlen von polirten Flächen zurückgewor werden; das Erstere, was näher bezeichnet Spiegelung hei gehört nicht hierher, das Zweite, welches zur Wärmestrahlu gehört, wird später ausführlicher erörtert werden, und es ble also hier nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs die Sonne strahlen in Körpern mit rauher Oberfläche mehr Wärme en wickeln, als wenn sie auf eine glatte auffallen. Bei weite vom gröfsten Einflusse ist aber die Farbe der Körper, in we cher Beziehung als allgemein gelten kann, dafs dunkle me erhitzt werden, als helle. Schon CARTESIUS[1], welcher die Zu rückwerfung der Lichtstrahlen mit seiner allgemeinen Bew gungstheorie in Verbindung brachte, bemerkte, dafs weifse Kö per das Licht mehr zurückwerfen, schwarze mehr verschlucke KEPLER[2] kannte die Thatsache, leitete aber die Ursache dav ab, dafs schwarze Körper trockner und entzündbarer seyen, anders gefärbte. Die ersten umfassenden und eigentlich wi senschaftlichen Versuche über dieses Problem stellte ROBE BOYLE[3] an und machte sie schon im Jahre 1663 bekannt. In dem er verschiedenfarbige Papierstreifen in einem dunkl Zimmer den einfallenden Lichtstrahlen aussetzte, fand er, da weifse am meisten Licht reflectirten; als grüne, rothe und bla verglichen wurden, reflectirten die rothen am meisten, gelb n grün und blau verglichen gab mehr, auch etwas mehr als pu purfarbenes, doch reflectirte blaues mehr als purpurfarbene Wenn er seine Hände mit einem weifsen und einem schwarze

1 Dioptrica. p. 50.

2 Dioptrice. Prop. 13. Vergl. PRIESTLEY History of discoveri relating to vision cet. Lond. 1772. p. 141.

3 Works. By BIRCH. Lond. 1772. T. I. p. 725.

aussetzte, wurde der schwarze
iteren Versuche nahm er einen
überzog die eine Hälfte schwarz,
ı Aussetzen an die Sonnenstrah-
lt blieb, während die schwarze
ıst liefs er zwischen beiden ge-
ile seine natürliche rothe Farbe,
igsten, Roth mehr und Schwarz
ı berichtet er, von einem glaub-
ı, dafs schwarz gefärbte Eier in
en Sonnenstrahlen ausgesetzt ge-
ermehrte die bis dahin bekann-
ıerkung, dafs, wenn weifs und
ter gleichen Bedingungen den
usgesetzt wurden, der schwarze
ım. Sehr zahlreiche Versuche
verschiedener und verschieden
nnenstrahlen verdanken wir dem
Musschenbroek[2], indem er das
en von Eisen, Blei, Marmor,
Wolle, Baumwollenzeug, Lein-
Thierhäute u. s. w., so wie die
hiedenen Farben überstrichener
empfindlichen Luftthermometers
as Resultat erhielt, dafs dunkle,
e und wenig reflectirende Kör-
len. Joh. Heinr. Lambert[3]
chte Erfahrung, dafs von zwei
ı liegenden Stücken Marmor das
unmerklich erhitzt wurde, des-
Siena angestellten Versuch, wel-
e eines Quecksilberthermometers
auf dieses im Schatten 26°,25 C.,
ie Sonne gehalten 40°, mit der
und wurde hierdurch zu einer
ıe mit ungefärbten, geschwärzten

l Soc. T. IV. p. 175.
T. II. p. 641. 651.
S. 151.

und verschieden gefärbten Quecksilber- und Weingeistther-
metern veranlafst, welche im Allgemeinen das Resultat gaben, d
unter übrigens gleichen Bedingungen die Erwärmung dun
Körper am stärksten ist. Ueberblickt man aber die erstaun
che Menge von Thatsachen, welche Boeckmann[1] aus ni
weniger als 204 Versuchsreihen entnommen und zusamme
gestellt hat, worin er die erwärmende Kraft der Sonnenstrah
bei den verschiedensten, vielfach modificirten und ungleich f
bigen oder gefärbten Körpern erforschte, so gelangt man zu
Ueberzeugung, dafs hierdurch die Aufgabe, sofern es sich blofs
die Erfahrung handelt, hinlänglich erschöpft ist; es würde a
eine nochmalige sehr schwierige und weitläuftige Arbeit erfo
dern, wenn man unternähme zu bestimmen, wie und auf we
che Weise die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen durch
Gefüge, die Dichtigkeit, die chemische Natur und die Farbe
verschiedenen Körper bedingt wird.

55) Am bekanntesten sind die Versuche, welche Franklin
ungefähr 100 Jahre später als Boyle, anstellte und im Jah
1761 bekannt machte. Im Allgemeinen fand er, dafs schwa
Kleider in der Sonne mehr erwärmen, als weifse, auch gleic
mäfsig nafs schneller trocknen, desgleichen dafs die Strahl
eines Feuers leichter durch schwarze als durch weifse Strümp
dringen. Dieses veranlafste ihn, gleich grofse Scheiben ve
schiedenfarbigen Tuches an heitern Tagen Morgens auf ein
freien Schneefläche auszubreiten. Die Farben waren schwa
dunkelblau, hellblau, grün, purpurn, roth, gelb, weifs und ei
nige zwischenliegende gemischte Farben. In wenigen Stunde
war die schwarze Scheibe so tief eingesunken, dafs die Sonnen
strahlen sie nicht mehr erreichten, die dunkelblaue fast ebens
die hellblaue weniger und die übrigen Farben um so viel wenige
je heller sie waren, die weifse aber war gar nicht eingesunken
Watson[3] hing bei heiterem Himmel ein Thermometer in di
Sonnenstrahlen und fand, dafs es sofort stieg, bei 42°,2 C
aber stationär wurde. Alsdann überzog er die Kugel mit Tusch

1 Versuche über die Erwärmung verschiedener Körper durch di Sonnenstrahlen. Eine von der Gött. Soc. gekrönte Preisschrift. Karlsr 1811. 8.

2 Letters on philos. subjects. p. 56. Works. Lond. 1816. T. II. p. 109. Vergl. Journ. de Phys. 1773. T. II. p. 381.

3 Philos. Trans. abridg. T. VIII. p. 371.

licklich vermindert wurde, nach-
47°,8. Aehnliche Versuche, als
sten des Sir Humphry Davy[1].
ı; jede 1 Zoll ins Gevierte und 2
'läche mit weifser, gelber, rother,
Farbe und brachte im Centrum
:ung von Oel und Wachs an, die
tigte dann alle auf einer weifsen
ıenstrahlen aus. Das Cerat schmolz
ı bei der blauen, nächstdem bei der
sten bei der gelben, und bei der
t. Weitere Versuche über diesen
:ht bekannt, inzwischen sagt er[2]
ihigkeit, durch die Strahlen der
s erwärmt zu werden, nach der
:hr verschieden sey und haupt-
Zusammenhange stehe. Schwarze
zt, als rothe, und so abnehmend
zum Minimum bei den weifsen.
zt, als Steine oder als vegetabili-
polirte Flächen weniger als rauhe.
Seiten eines würfelförmigen zin-
rufs, Bleiweifs und Mennig, und
ın sie den Sonnenstrahlen ausge-
fs von 100 zu 85 und 90. Auf
ı[4], dafs ein Thermometer mit ge-
len der Sonne und des Feuers aus-
ins mit nicht geschwärzter; nach
standen beide im Schatten gleich

'ersuchen über die Fähigkeit ver-
ı Sonnenlicht erwärmt zu werden,
etheilt. Alle von ihm verwandte

al knowledge. By Th. Beddoes. Bristol

hilosophy. Lond. 1812. T. I.

ons. 1792.
. IV.

Hölzer waren vorher hinlänglich ausgetrocknet, wurden da zu Spähnen geraspelt und diese in ein Kästchen von der näm lichen Holzart gethan. Da es aber den Versuchen an einem eigentlichen Puncte der Vergleichung fehlt, so theile ich n einige allgemeine Resultate mit. In Kirschbaumholz stieg d Thermometer binnen 72 Minuten von 18°,75 auf 34°, wäh rend ein anderes Thermometer in der Sonne 37°,5 zeigte; Erlenholz binnen 82 Minuten von 17°,5 auf 32°,5, währe das Thermometer in der Sonne von 31°,25 auf 41°,25 stie in wildem Birnbaumholze stieg das erstere binnen 88 Min. v 20° auf 30°, das letztere von 37°,5 auf 40°; in Weifstannen holz waren binnen 90 Min. beide Stände von 20° bis 31° u von 37°,5 bis 41°,25, in Espenholz binnen 89 Minuten von 2 bis 31° und von 38° bis 42° gestiegen. Hiernach schütz also das im Ganzen weifse Holz gegen die stärkere Wärmee regung, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, dafs b den angegebenen Versuchen eigentlich der Stand des Thermo meters in den verschiedenen Holzarten mit dem eines ande Thermometers im Schatten verglichen werden mufste.

57) In der neuern Zeit hat James Stark[1] eine bede tende Reihe von Versuchen angestellt, die sich jedoch nicht g rade darauf beziehn, inwiefern die auffallenden Sonnenstral len ungleich farbige Körper mehr oder weniger erwärme sondern den Einflufs der Farben auf die leuchtenden und du keln Wärmestrahlen überhaupt zu ermitteln bestimmt sin Wenn aber den Farben, als solchen, ein bedeutender Einflu auf die Wärmestrahlen beigelegt wird, so ist dabei nicht b rücksichtigt, dafs die Versuche mit gefärbten Körpern angeste wurden, deren eigenthümliche Zusammensetzung, zum The durch die Ungleichheit der angewandten Pigmente bedingt, a die Aufnahme oder Erzeugung der Wärme eine bedeuten Wirkung ausüben mufs, wie schon John Leslie und beson ders auch Baden Powell[2] richtig bemerkt haben und ga unverkennbar aus den zahlreichen Versuchen von A. D. Bach hervorgeht, in denen die nämlichen Farben sehr abweichen

1 Philosoph. Trans. 1833. p. 285. Edinb. New Phil. Journ. N XXXIII. p. 65.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXIV. p. 251.

3 Silliman Amer. Journ. T. XXX. p. 16. Vergl. unten §. 266.

Summe zahlreicher Versuche und
Evidenz hervor, dafs im Allge-
in dunkeln und rauhen Körpern
s in hellen und glatten. Endlich
vichtigen Versuche von POUILLET
mir aber geeigneter, sie von den
en nicht zu trennen, und sie da-
hnittes zu versparen, wo von dem
rmeentwickelung durch die Sonne

vähnten drei Bedingungen zusam-
e Resultate leicht, die deswegen
ng bedürfen. Dahin gehört das
hnees, wenn er beschmuzt ist[1],
fse Farbe die Sonnenstrahlen stär-
nan auch an manchen Orten den
u bestreuen pflegt, um sein schnel-
. Nach v. HUMBOLDT[2] werden
fser, als weifse, verlieren aber bei
, und selbst in kalten Gegenden
dort unter gewöhnlichen Bedin-
ch zur Reife, dafs man sie gegen
ngen schützt, die aufserdem in
e Sonnenwärme bedeutend erhöhn.
und keineswegs zu bewundern,
zsoole dringenden Sonnenstrahlen
l erhitzen, wie PRINSEP[3] in Ost-
fs übrigens die wärmeerzeugende
rdlichen Gegenden in Folge der
giebt sich aus einer Angabe von
hnee in Sibirien auf den Dächern
emperatur der Umgebung — 25°
n gehört auch die bekannte Er-
Kälte, wenn die Temperatur der

in Paris, dafs der überall verbrei-
n und da, wo Kohlen zerstreut lagen,
. T. III. p. 183.
Th. IV. S. 25.
Mag. N. LXXXV. p. 26.
61.

Luft nie den Schmelzpunct des Eises erreicht, dennoch Schnee um die aus ihm hervorragenden Halme, Stauden Bäume weggeschmolzen wird. Auf Veranlassung einiger obachtungen FUSINERI's[1], welcher diese Phänomene mit gewöhnlichen Theorie unvereinbar fand, weil die in den B men und Gesträuchen durch die Sonnenstrahlen entwickelte dem Schnee mitgetheilte Wärme unmöglich größer seyn kö als die der eigentlichen Wärmequelle, der Sonnenstrahlen sel den außerdem hindernden Schatten nicht zu rechnen, hat M LONI[2] das ganze Problem genauer und mit Hinzufügung Resultate eigens angestellter Versuche erklärt, unter denen gende die wichtigsten sind. Er überstrich seinen Thermom tiplicator nach Wegnahme des Kienrußüberzuges mit B weißfarbe und erhielt dann eine geringere Abweichung Magnetnadel bei einer Wärmequelle von gleicher Stärke vorher; die Abweichung nahm aber zu, als er ein Blatt d kelgraues Papier vor die Oeffnung des Thermomultiplica hielt. Um die ungleiche Wärmeabsorptionsfähigkeit des Sch zu prüfen, ließs er auf die beiden, die entgegengesetzten L stellen einschließsenden Oeffnungen seines Thermomultiplica von der einen Seine eine argand'sche Lampe, von der an eine bis 400° C. erhitzte Kupferscheibe wirken und näh beide Wärmequellen allmälig so, daſs ihre Wirkungen gl waren, dann nahm er die thermoelektrische Säule weg setzte genau an deren Stelle eine kupferne Röhre von glei Weite als die, welche die thermoelektrische Säule umsch und welche mit lockerem Schnee gefüllt war, dessen äu Flächen, mit einem Bretchen abgestrichen, gleich große F nen darboten. Die Wirkungen der beiden genannten Wär quellen waren dann keineswegs gleich, sondern die Kup scheibe schmelzte mehr Schnee, als die Lampe; hielt er eine kleine Scheibe geschwärztes Papier vor die Mitte der linderfläche des Schnees, so verminderte diese die Wirkung Kupferscheibe, verstärkte aber die der Lampe. Hiernach schl er, daſs der Schnee wenig Wärme absorbire, desto mehr

---

1 Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto. 1 p. 38.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXVIII. p. 442. Bibl. univ. 1 N. XXIX. p. 149. Compt. rend. T. VI. p. 801. Poggendorff's XLII. 357. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 242.

nen genügend erklärt wird, so-
in herrschenden Ansicht in den
onnenstrahlen mehr Wärme ent-
theilt, als in letzterem durch die
ıstrahlen erregt wird. MELLONI
freiliegende Schnee mehr Wärme
sstrahle, als der theilweise be-
lter erhalten werde und minder
nach meiner Ansicht zur Erklä-

ı die interessanten Versuche des
efs sich drei gleiche cylindrische
verfertigen, 4,5 Z. im Durch- Fig. 38.
e 1,75 Z. über dem Boden mit
ägern ruhenden Scheidewand a b
r Kästchen war durchbohrt, und
ittelst eines Korkes in dem ab-
ıalten, dafs das birnförmige Ge-
der Mitte dieses mit gleichen
fgewickelten Tressen genomme-
: Scheidewände der drei Käst-
s Messingblech, beim zweiten
eim dritten aus Schwarzblech.
zu verhindern, war der Boden
stchen inwendig und auswendig
dann dreimal mit Kopalfirnifs
während des Versuchs mit Pelz-
ırate wurden neben einander vor
n so lange ausgesetzt, bis sie das
ommen hatten, wobei das Kästchen
urde; als aber nachher alle drei
l umgekehrt auf einem Tische
ı, zeigte sich, dafs gerade dieses
als die beiden andern. Diese
ıffallend, als sie damals dem
Ueberhaupt schienen anfangs die
elche RUMFORD, hauptsächlich
RD HOME[2] nicht lange nachher

ır. 1804. p. LI.
Part. I.

anstellte, mit andern bekannten Erfahrungen im Widersp zu stehn, aber aus dem richtigen Gesichtspuncte betrachtet nen sie vielmehr zur Bestätigung. Es ergab sich nämlich, die schwarze Haut der Neger der erhitzenden Einwirkung Sonnenstrahlen besser widersteht, als die weifse der Europ was wohl zum Theil eine Folge des fettigen Glanzes ist, Theil aber auch daher rührt, dafs die Sonnenstrahlen durch die schwarze Substanz dringen, welche die färbt, und die darunter befindlichen verletzbaren Theile zerstören, sondern von dieser absorbirt und dadurch unsch lich werden. Aus den Versuchen Home's ergab sich aber ner, dafs von beiden Händen, wenn die eine mit einem schw zen, die andere mit einem weifsen Handschuh bedeckt die erstere durch starke Sonnenhitze nicht verletzt, die letz aber versengt wurde. Hierbei ist sehr deutlich, dafs schwarze Ueberzug durch Verschluckung der Sonnenstral schützend wirkte.

60) Wir müssen jetzt die oben §. 52 u. 53 kurz beri ten Sätze, dafs die Wärmeerzeugung durch die Sonnenstra mit der Höhe zunimmt und mit zunehmenden geographis Breiten abnimmt, näher beleuchten. Der erste Satz, *dafs Sonnenstrahlen auf hohen Bergen*, wenn sie eine dün und weniger mit trübenden Mitteln gemengte Luftschicht du dringen, mehr *Wärme erzeugen*, folgt aus der Natur der Sa und wäre nie als etwas Auffallendes betrachtet worden, er nicht mit der so enormen Kälte auf den Spitzen hoher I in scheinbarem Widerspruche stände. Es bedarf, um die T sache zu begründen, nicht einmal eigentlicher Versuche, das blofse Gefühl reicht schon hin, um sich davon zu ü zeugen, indem die Reisenden, welche hohe Berggipfel be gen haben, in der Regel über die dort empfundene una nehme Wärme der Sonnenstrahlen klagen, was jedoch ha sächlich als eine Folge des Gegensatzes der enorm kalten gebung zu betrachten ist. Beispielsweise möge hier angef werden, dafs ein Reisender[1] in den Himalaya-Gebirgen einer Höhe von 14700 engl. Fufs ein Dorf antraf, wo October des Morgens das Thermometer — 8°,4 C. zeigte, d noch aber waren die Sonnenstrahlen unangenehm und alle

1 Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. III. p. 183.

Nacht eine Eisdecke erhalten hat-
ımittags davon keine Spur mehr.
über dieses Problem künstliche
des Cramont, in einer Höhe von
zwei Thermometer, welche eine
zeit das eine auf geschwärztem
das andere im Schatten gelegen
°,25 C., letzteres 6°,25 zeigend;
er den Versuch zu Courmayeur
und erhielt 33°,75 und 23°,75,
ben 19° C., unten aber nur 10° C.
, dafs die erwärmende Kraft der
tschicht von nicht ganz 5000 F.
hwächt würde, allein dieses Re-
ıern Versuchen mit dem Aktino-
als eine Folge der mangelhaftern
genügenden Methode der Beob-

Thatsache unterliegt jedoch nach
Capitain Sabine[2] keinem Zweifel.
ometer waren selbstregistrirende, ein
Maximum und Weineingeistthermo-
stehenden Kugeln beider waren mit
schwarzer Wolle umgeben. Zum
e den Einflufs der Strahlung, diente
ngenes, durch ein Dach gegen die
rigens dem freien Zutritt der Luft
elches noch aufserdem durch ei-
, mit vielen Löchern durchbohr-
. 8 Z. Durchmesser gegen jeden
zt wurde. Als Stationen dienten
zu Port-Royal auf Jamaica und
0 engl. F. Höhe, wo die regi-
urzen Kräutern lagen. Der Un-
raturen an beiden Orten während

T. II. p. 365.
ıts to determine the Figure of the
. Vergl. Dublin Phil. Journ. N. II.

der Beobachtungstage betrug 7°,22 C., auf der obern St
aber erzeugten die Sonnenstrahlen einen Ueberschufs über
Umgebung von 32°,77 C., auf der untern nur 20°,2
Wurden dagegen diese Thermometer bei Nacht beobachtet,
ging das frei liegende 8 F. über dem Meeresspiegel im M
5° C., das auf dem Berge aber 10° C. unter das gegen St
lung geschützte herab.

62) Die zahlreichsten Versuche über die Erzeugung
Wärme durch die Sonnenstrahlen unter den verschieden
Bedingungen sind von DANIELL[1] angestellt worden, wel
durch Bekanntmachung derselben die Aufmerksamkeit vorzüg
auf dieses Problem lenkte und zu weitern Untersuchungen
selben Veranlassung gab. Das zum Messen der Strahlung
nende Thermometer war mit schwarzer Wolle umgeben,
Art der Vorrichtung, die auch bei spätern ähnlichen Versu
dieser Art zur Anwendung kam. Aus DANIELL's ganzjähr
Beobachtungen geht hervor, dafs der gröfste Effect der S
nenstrahlen zu London 36°,11 C. betrug, statt dafs SABI
Versuche zu Sierra Leone und zu Bahia nur 10°,15 ga
und wenn wir auch die eben angegebenen, zu Jamaica erh
nen Resultate nehmen, so bleiben sie doch an Gröfse h
den zu London gefundenen zurück. DANIELL folgerte hie
dafs die wärmeerzeugende Kraft der Sonnenstrahlen nach
Polen hin zunehme, worin ihn der Umstand bestärkte,
PARRY im Monat März, in welchem das Maximum zu L
don nur 27°,22 C. betrug, 27°,9 erhielt. Ebenso erzählt S
RESBY[2], dafs bei hellem Wetter in der Nähe von Spitzbe
die Sonnenstrahlen das Pech an den Schiffen zum Schme
bringen und daselbst eine Temperatur von 26° bis 32° C.
zeugen, während sie an der entgegengesetzten Seite im Sc
ten nur — 7° C. beträgt. Noch auffallender ist, dafs nach
Erzählung ebendieses unermüdeten Seemannes[3] einst im A
als um 2 Uhr Morgens die Temperatur — 20° C. betrug
um 10 Uhr im Schatten, nachdem die Wolken verschwun
waren, bis — 10° stieg, die Sonnenstrahlen eine so ungla

---

1 Meteorological Essays and observations. Lond. 1823. 8.
207 ff. Vergl. Encyclopaedia metropolitana. Art. Meteorologie. p.

2 Account of the Arctic Regions. T. 1. p. 378.

3 Voyage to the northern Whale-Fishery. p. 34.

lie Menschen an einer Seite eben-
n der andern eine empfindliche
h an dem Schiffe schmolz, wo-
gte Wärme auf 45° C. schätzt.
htungen, welche RICHARDSON[1]
lte, beträgt das Maximum der
gten Wärme 36°,11 C. und fällt
ai dagegen beträgt dasselbe nur
lin unter 65° 12′ nördl. Br., 125°
ngestellten Beobachtungen beträgt
hr nach Mittag.
on Versuchen mit einem Ther-
chwarzem Tusch überzogen war,
möglichst vermieden wurden, hat
Jahren 1815 und 1816 zu Vi-
Br. angestellt. Der Unterschied
s nicht geschwärzten, im Schat-
ttel bei Windstille etwa 10° C.,
lem Minimum 8°,7 und dem Ma-
Wenn sich ein Wind erhob, so
vermindert, und ging selbst bis
ien es auffallend, dafs die Kraft
estens ebenso grofs war, als im
d, dafs sie zu allen Zeiten gleich
eschlossen scheinen dürfte, da so
gen, namentlich die Reinheit der
kommen.
, dafs die erwärmende Kraft der
der Breite zunehme, ist mehrfach
auer Untersuchung unhaltbar, wie
lig folgt, wenn man berücksichtigt,
trahlen immer schiefer auffallen und

xpedition to the shores of the Polar-
1828. App. II.
ys. T. XXVI. p. 381. Ausführlich in
II. p. 256 ff. Er bediente sich hier-
nittelst dessen zwei geschwärzte Ther-
nstrahlen ausgesetzt und durch einen
n. In 243 günstigen Tagen machte er

einen längern Weg durch die Luft zurücklegen. Arago[1] wiederholt die Thatsachen, worauf Daniell seinen Schluſs baut und bestreitet dann denselben mit überwiegenden Gründen. Das zu London gebrauchte Thermometer war geschwärzt und mit Wolle umgeben, berührte auſserdem fast den Boden, zu Sierra Leone aber war die Kugel bloſs geschwärzt und 18 Z. vom Boden entfernt; zu Bahia und Jamaica finden ähnliche verschiedene Bedingungen statt, die eine genaue Parallele zwischen den Resultaten und denen zu London nicht gestatten. Ebenso sey auch bei der Vergleichung der unter hohen nördlichen Breiten angestellten Versuche mit denen zu London der Einfluſs des mit Schnee bedeckten Bodens nicht genügend berücksichtigt. Sehr treffend ist das Argument, daſs unter Voraussetzung einer wirklichen Vergleichbarkeit der verschiedenen erwähnten Versuche ebenso gut eine verschiedene erwärmende Kraft der Sonne in America und Africa aus ihnen gefolgert werden könne, als die von Daniell aus ihnen abgeleitete. Pentland[2] erklärt sich gleichfalls gegen den von Daniell aufgestellten Satz, meint aber, die erwärmende Kraft der Sonne sey unter ungleichen geographischen Breiten nicht wesentlich verschieden, jedoch entscheiden seine eigenen Messungen vielmehr für denselben. Er erhielt nämlich mit zwei Thermometern, deren eins mit schwarzer, das andere mit weiſser Wolle umgeben war, zwischen den Wendekreisen im Mittel 3°,62 C., in der Nähe vom Cap Horn aber 3°,856. Wie viel bei solchen Versuchen auf Nebenbedingungen ankomme, hat Foggo[3] sehr überzeugend nachgewiesen. Um ihren Einfluſs näher zu bestimmen, setzte er am 7ten Juli ein Thermometer, dessen Kugel mit schwarzer Wolle umgeben war, bei 15° C. äuſserer Temperatur den Sonnenstrahlen frei hängend und nicht gegen den Wind geschützt aus; es stieg in 10 Min. bis 35°, auf Gras gelegt fiel es bis 15°,55 und stieg gleich darauf an der Sonne wieder auf 34°,45. Am 29sten desselben Monats stieg ein solches Thermometer, welches in einer Ecke gegen den Luftzug geschützt war, auf 65°,56, ein ähnliches auf dem Grase nur bis 48°

1 Ann. de Chimie et Phys. T. XXVI. p. 375. Vergl. Daniell's Widerlegung in Journ. of the Royal Institut. T. XVIII.

2 L'Institut 1839. N. 270. p. 66.

3 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. p. 63.

vas früher das erste bis 60°, das
ɔachtungen mit unbekleideten, der
etern verwirft Foggo als durch-
ɔnnenstrahlen zu sehr davon zu-
igte ihm im heifsen Juli 1825 am
dete Thermometer 65°,55 und ein
Sonne ausgesetztes 37°,22. Am
ur von 16°,66 zeigte das beklei-
bis 2 Uhr 30 Min. nach einander
s nackte 23°,88, 33°,33, 32°,22
nnter der äquatorischen Zone die
värmungen durch die Sonnenstrah-
en nachständen, so gebe es dort
ɔfse Kraft der Sonnenstrahlen, na-
odens, aufser Zweifel setzten. So
ande ein Thermometer in der
d Bruce erwähne zu Gondar in
zu haben, während zu Benares
den Seltenheiten gehörten. Zu
ottom die Wärme des Bodens zu
des groben Granitsandes zu 60°,2,
derartiges höheres Resultat bekannt
, welcher an einem heifsen Juni-
nit Oelanstrich versehenen Garten-
kannt ist dagegen, was Gregory[1]
ande unter der äquatorischen Zone
en werden.

n, die sich noch bedeutend ver-
keinem Zweifel, dafs Daniell aus
nungen zu voreilig und ohne all-
stände geschlossen hat. Dafs die
ter höhern Breiten mehr Wärme
r nicht hinlänglich erwiesen; ge-
en Thatsachen führten zu dieser
noch nicht ohne Weiteres zulässig.
t mit Recht, dafs die grofse Wärme

u. s. w. Ueb. von Kühn. Nürnb. 1798.

der Sonnenstrahlen in den Polargegenden von der Reinheit
Luft herrühre, denn statt daſs diese in niedern Breiten,
namentlich in der äquatorischen Zone, stets mit Wasserda
überladen ist, werden die Dünste unter höhern Breiten du
die Kalte bei Nacht niedergeschlagen[1]. Auſserdem aber
noch folgender Umstand wohl zu berücksichtigen. Wenn
den Sonnenstrahlen einmal eine gewisse wärmeerregende K
beilegen, so muſs diese, wenn sie lange genug einwirkt, ih
Stärke proportionale Effecte hervorbringen und also da, wo
am gröſsten ist, das Thermometer absolut am höchsten ste
machen. Hiernach kommt also nicht sowohl der Untersc
zweier Thermometer, als vielmehr der absolute Stand des
Wolle umwickelten oder geschwärzten Thermometers in
trachtung, mit Rücksicht darauf, daſs dieses in kälterer U
gebung von der aufgenommenen Wärme einen Theil wi
abgiebt. Dieser Verlust läſst sich ohne eigens angestellte
suche nicht wohl würdigen, ist aber auf jeden Fall nach
bisherigen Erfahrungen nur ein kleiner Theil der stets neu
geführten Wärme und kann daher nach längerer Zeit nicht
bedeutend bleiben. Eben daher gewinnen die Versuche mit
Aktinometer sehr an Zuverlässigkeit, weil sie auf eine
stimmte Zeitdauer beschränkt sind. Betrachten wir h
nach einige der mitgetheilten Resultate, so zeigte Sabine's
schwärztes Thermometer zu Sierra Leone, Bahia und Ja
zwar keine so hohe Wärme, als das von Daniell zu Lo
beobachtete, welches Resultat durch andere Umstände bed
seyn mag, allein Daniell erhielt dagegen als Maximum
London 61°,66, auf Melville-Island aber wurden im März
— 1°,1 C. beobachtet, was den gröſsern Effect unter nie
Breiten wohl auſser Zweifel setzt, wie groſs man auch
Verlust anschlagen mag[2]. Inzwischen ist dieser lange Zeit
mentlich zwischen englischen Gelehrten geführte Streit neuerd
durch die Erfahrung entschieden worden, denn Herschel[3] f
mittelst des Aktinometers, daſs die thermometrische Wirk

---

1 Nach den neuesten Untersuchungen müssen wir schlieſsen,
die Diathermanie der reinen Luft ungleich gröſser ist, als die der
Wasserdampf gemengten.

2 Vergl. James Dalmahoy in Lond. and Edinb. Phil. Mag
XXXIX. p. 132.

3 Compt. rend. 1836. T. II. p. 506. Poggendorff's Ann. IV.

Cap der guten Hoffnung 48°,75, in
trägt. Im Ganzen genommen dürf-
ämlichen Apparate und unter min-
en angestellten Versuche vergleich-
der oben §. 50 erwähnten hohen
URE durch sein Heliothermometer
, überzeugte sich POUILLET[1] durch
seinem Aktinometer (§. 95), dafs
trahlen ausgesetzt, eine Erhöhung
4° bis 63° oder 64° über die der
können, je nach den Bedingungen,
eraus erklärt sich leicht die grofse
en Resultate. Nach HERSCHEL soll
Sonnenstrahlen eine Eisdecke von
nach POUILLET[2] eine solche von 14
letzten Versuche[3] eine von 31 Me-
zen vermögen.

Versuche auch auf Nebenfragen aus-
ng zwar meistens von selbst folgt,
entnommen wird. Es war in den
sungen mit dem geschwärzten Ther-
Graden im Mittel

		Wärme der Sonne	
ie			
te		kleinste	gröfste
6	Juli . . .	19°,88 . .	30°,55
)	August . .	18,38 . .	32,77
!	September	18,15 . .	30,00
l	October .	15,25 . .	23,88
5	November .	3,71 . .	13,33
!	December .	3,00 . .	6,66

die erwärmende Kraft der Sonne mit
schneller wächst, als mit der abneh-
lchem Verhältnifs das Erwärmungs-
ihrer Erhebung über den Horizont
des mittlere Resultat aus 5 Beobach-

ır solaire. Par. 1838. p. 48.
e éd. 1830. T. II. p. 704.
ur solaire. p. 41.

tungsreihen Auskunft, welche die den verschiedenen Tagsstu den zugehörigen Unterschiede des geschwärzten Thermomet in der Sonne und des im Schatten befindlichen angeben:

9 Uhr	30 Min.	17°,77 C.	2 Uhr	30 Min.	35°,00 C
10 –	30 –	25,55 –	3 –	30 –	32,22 –
11 –	30 –	30,55 –	4 –	30 –	27,22 –
12 –	30 –	35,00 –	5 –	30 –	19,44 –
1 –	30 –	36,11 –	7 –	30 –	16,11 –

Zum Beweise, dafs auch unter hohen nördlichen Breiten erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen mit zunehmender S nenhöhe wachse, führt HARVEY[1] die Messungen an, wel Capitain BACK und Lieutenant KENDAL auf der zweiten R FRANKLIN's anstellten und wonach sie in den Jahren 1826 1827 als mittlere Kraft der Sonnenstrahlen erhielten:

im November . . .	5°,93 C.	im Februar . . .	19°,00 C
– December . . .	3,85 –	– März	25,10 —
– Januar	8,48 –	– April	29,45 —

Aufserdem erhielt RICHARDSON im Jahre 1827 mit z Thermometern, deren eins auf gleiche Weise geschwärzt Sonnenstrahlen ausgesetzt wurde, im Mittel im Mai 19°,44 im Juli 15°,55 und im August 14°,51. Inzwischen mufs auffallen, dafs unter sehr hohen nördlichen Breiten die Wä zwar mit zunehmender Sonnenhöhe wächst, dafs aber gröfste Unterschied beider Thermometer, wonach man die St ke der Irradiation zu messen pflegt, in den Monat März fal Zum Beweise dieses merkwürdigen Satzes dienen folgende fahrungen[3]. Nach den Beobachtungen zu Fort Franklin u 65° 12' nördl. Br., 125° 12' westl. L. v. G. betrug der grö Ueberschufs des geschwärzten Thermometers über das frei den Jahren 1826 und 1827

1 Encyclopaedia metropolitana. Art. Meteorologie. p. 57.

2 Die Messungen von BACK und KENDAL sind die einzigen vorgekommenen, woraus dieses Resultat nicht hervorgeht und we daher vor der Hand als Ausnahmen gelten müssen.

3 Narrative of a second Expedition to the shores of the Po Sea cet. By JOHN FRANKLIN. Lond. 1828. 4. App. III.

C.	im März	36°,11	C.
–	– April	28,33	–
–	– Mai	27,80	–
–	– Juli	21,38	–
–	– August	18,00	–

ınter 52° 51′ nördl. Br., 106° 13′ se Gröfse 1827 im Februar 31°,66; 22°,77. Richardson leitet diese hmender Sonnenhöhe als bei abneh- ‚einheit der noch nicht mit Dünsten dürfte aber dabei auch der Umstand der im Winter tief erkältete Erd- iedererwärmung durch die Sonnen- ne bedeutende Menge Wärme ent- gröfsern Unterschied zwischen dem d dem von der Sonne beschienenen zu der Zeit, wenn der Boden be- Wärme aufgenommen hat. Beide neinschaftlich bewirken, dafs unter die wärmeerregende Kraft der Son- fser ist, als Nachmittags, also bei Sonne stärker als bei abnehmenden. esultat aus den mittleren Resultaten lten bis 31sten zu Fort Franklin an- sehr evident hervor. Diese geben

ır	16°,70 C.	3 Uhr	13°,15	C.
–	17,10 —	4 —	11,71	—
–	16,71 —	5 —	9,89	—
–	14,60 —	6 —	8,35	—

und 9 Uhr ein merkliches Ueberge- Uhr haben, 8 Uhr aber gegen 4 Uhr ht anderweitige Bedingungen hinzu- ne Zweifel die erwärmende Kraft der der Sonne und ihrer Erhebung über einem noch nicht genau bestimmten

65) Bei der Untersuchung der Wärmeerzeugung durch di Sonnen- und Lichtstrahlen kommt vorzüglich der Unterschie der *farbigen Lichtstrahlen* in Betrachtung. Einer der ersten welche Versuche hierüber anstellten und die Resultate bekann machten, war LANDRIANI[1]; dieser fand das Maximum der erwärmenden Kraft in den gelben Strahlen des Spectrums. Nich lange nach ihm gelangte ROCHON[2] durch seine im Sommer 177 angestellten Versuche zu einem ähnlichen Resultate, dafs nämlich die stärkste Erwärmung zwischen Gelb und Roth an eine Stelle liege, die er bald *orangé*, bald *rouge orangé* nenn Uebereinstimmend hiermit fand SENNEBIER[3] aus zahlreiche und oft wiederholten Versuchen, dafs das rothe Licht stet mehr Wärme erzeuge, als das violette, bisweilen aber das gelb mehr als das rothe. Im Mittel aus allen Versuchen und nacl einem zur Bestätigung hervorgehobenen Beispiele sind die gelben Strahlen für die am meisten erwärmenden zu halten. De ältere HERSCHEL[4] war aber wohl der erste, welcher dies wichtige Entdeckung zum Gegenstande sehr weitläuftiger Untersuchungen machte. Beim Aussuchen verschieden gefärbter zur Beobachtung der Sonne verwandter Gläser fiel ihm auf, daf einige derselben weniger Licht, andere mehr Wärme durchliefsen, und er entschlofs sich daher zur Ausmittelung der hierauf bezüglichen Thatsachen durch eine Reihe von Versuchen Indem er die farbigen Strahlen des Spectrums durch eine Schlitz in einer eigens hierzu verfertigten Vorrichtung falle liefs, fand er, dafs ein feines Thermometer in den rothe Strahlen binnen 10 Minuten im Mittel um 3°,8, in den grüner um 1°,8 und in den violetten um 1°,1 C. stieg, wonach sic also die erwärmende Kraft derselben nahe wie 3,5 : 1,5 : 1 verhielt. Bei einer folgenden Reihe von Versuchen fand er, daf

---

1 S. VOLTA Lettere sull' aria inflammabile nativa delle Paludi. Milano 1777. p. 136. Entlehnt aus Scelta d'Opuscoli interessanti. T. XIII.

2 Recueil de Mémoires sur la Mécanique et Physique. Par. 1783 p. 136.

3 Physicalisch-chemische Abhandlungen über den Einflufs de Sonnenlichts auf alle drei Reiche der Natur. Leipz. 1785. Th. II. S. 37.

4 Philosoph. Trans. 1800. P. II. p. 255 ff. G. VII. 138. Mon. Corr. Th. III. S. 72 u. 553.

die Sonnenstrahlen sich über die ro-
ıs hinaus erstreckte, indem ein Ther-
on der Grenze der äufsersten rothen
in. um 3°,6; bei 1 Z. Abstand um
tand um 1°,75 C. in gleicher Zeit
iolett des Spectrums hinaus gar kein
Herschel folgerte hieraus, dafs das
ahlen begleitet sey, welche eine ge-
n, als das Licht. Bei der unglei-
der farbigen Lichtstrahleu und der
ität derselben kommt es sehr dar-
ıg der Messung macht, und hierans
[1] die erwärmende Kraft im Spectrum
othen hin im Verhältnifs von 1:8
e aus seinen Versuchen, dafs der
ugte Brennpunct der Wärmestrahlen
ahlen zusammenfalle, indem der er-
eiter als der zweite von einer gro-
eren Oeffnung durch eine Blendung
Herschel suchte aufserdem den
, welchen transparente gefärbte und
, und ich setze einige der erhaltenen
ihnen an der für die Wissenschaft
:ht.

	Wärmeverlust
. . . .	0,091
all	0,244
. . . .	0,139
. . . .	0,800
s	0,604
. . . .	0,333
. . . .	0,849
. . . .	0,812
. . . .	0,362
. . . .	0,633
. . . .	0,583

p. 403.
und 1803. p. 464. G. XII. 521.

Substanzen	Wärmeverlust
violettes Glas	0,489
Quellwasser in Glas	0,558
Seewasser	0,682
Weingeist	0,612
das leere Glas	0,542
weiſses Papier	0,850
weiſse Leinwand	0,916
schwarzer Mousselin	0,714.

66) Die angegebenen Versuche und die daraus abgeleit- ten Resultate wurden streng kritisirt durch John Leslie welcher sich schon früher seines *Photometers* zu ähnlich Versuchen bedient hatte, indem er die Kugeln desselben m verschiedenen Farben überzog. Hierbei reflectirte Roth fa ebenso viel Licht, als Weiſs, Blau aber und demnächst Grün a wenigsten. Bei Wiederholung der Herschel'schen Versucl konnte er inzwischen auch mit den empfindlichsten Apparate keine Wärmestrahlen auſserhalb der Grenze des rothen Licht wahrnehmen, und er glaubte daher, daſs durch die Erwärmur der Fläche, auf welcher Herschel's Thermometer lagen, un die seitwärts reflectirte Wärme die Täuschung hervorgebracht wor den sey. Nicht minder findet er die Versuche mit den gefärbte Substanzen durchaus ungenügend, weil sie keine genaue Be stimmung der Farbennüance, der Dicke der Masse, der Men des durchgelassenen Lichtes und der Intensität der jedesmal an gewandten Sonnenstrahlen enthielten. Meikle[2] suchte zu be weisen, daſs bei den Versuchen das Prisma selbst erwärn worden sey und den Thermometern diese seine Wärme mit getheilt habe, und auch Prevost[3] unterwarf die durch Her schel gefundenen Resultate einer kritischen Prüfung, inde er sie auf das Newton'sche Gesetz, wonach die Zunahmen un Abnahmen der Wärme in den Körpern eine geometrische Pro gression bilden, zurückzuführen suchte. Da es aber fraglich is ob dieses Gesetz hierbei streng in Anwendung kommen kan in den Bestimmungen Prevost's aber einige Willkür zu herr schen scheint, so dürfte es nicht zweckgemäſs seyn, dies

1 Nicholson's Journ. T. IV. p. 344 u. 416. G. X. 88 u. 359.
2 Philosoph. Magazine. T. LXV. p. 11.
3 Philosoph Trans. 1802. p. 403.

zu erörtern. Die gegen die Ver-
ch gefärbte Gläser und transparente
Versuchen gemachten Einwendungen
von selbst; beachtenswerth dürfte
n Erörterung gekommene Umstand
ussetzung von dunkeln, die Licht-
nestrahlen, wenn sie das Glas nicht
diese sich im Prisma anhäufen oder
urückgestofsen worden seyn müfsten,
will, dafs sie durch das begleitende
zu durchdringen, erhalten hätten.
s er aufser dem Lichtspectrum noch
eringerer und ein chemisches von
m, wonach also aufser der Wärme
p neben den Lichtstrahlen von der
was wohl keiner Widerlegung be-
dagegen vertheidigt durch Engle-
rsuche mit einigen Abänderungen
le brachte er in einem Fenster ohne
s ein gleichseitiges Glasprisma an,
treifen des Spectrums mit einem
ch ein schmaler Einschnitt befand,
durchliefs, concentrirte diese durch
Focus der letztern auf eine Scheibe
welchen er dann die meistens ge-
indlichen Thermometers hielt. Die
auf eine solche Weise hergestellt,
ausgenommen der des absichtlich
wurde. Beim ersten Versuche stieg
wärzter Kugel

nen	3	Min.	um	0°,55	C.
—	3	—	—	2,22	—
—	3	—	—	3,33	—
—	2,5	—	—	8,88	—
—	2,5	—	—	8,60	—
—	2,5	—	—	10,00	—

Journ. Th. VI. S. 667.
stitution. T. I. 1802. p. 202. G. XII.
p. 118.

und kehrte nach den Versuchen auf seinen ursprünglichen St wieder zurück. Bei einer zweiten Versuchsreihe stieg Thermometer mit geschwärzter Kugel

im rothen Lichte . . . . um 1°,66 C.
aufserhalb des rothen Lichtes . . . – 2,77 –

das Thermometer mit weifs gefärbter Kugel

im rothen Lichte um . . . . . 1°,66 C.
im vollen Dunkel um . . . . 0,27 –

Bei einem dritten Versuche stieg das geschwärzte Thermom bei vollem Sonnenscheine an der Grenze des Roth in 3 Mi ten um 6°,66 C., das weifs gefärbte um 1°,66. Bei ei vierten Versuche, als gleichfalls die Sonne sehr hell sch stiegen während 3 Min. das geschwärzte Thermometer im vo Roth um 8°,88, das weifs gefärbte um 1°,93; im vollen Di kel 1,5 Zoll vom Roth das geschwärzte um 5°,55, fiel a sogleich, wenn es in das rothe Licht gebracht wurde, und s wieder, wenn es über die Grenze desselben hinauskam. Se wenn die rothen Strahlen neben den Einschnitt im Schi fielen und sich nur ein schwacher rother Schimmer im Fo der Linse bildete, stieg dennoch das geschwärzte Thermom aufserhalb des Focus um 5°,75 C.

67) Schon vor Herschel's Versuchen bemühete sich Boec mann [1], den Einflufs der Farben auf die Erzeugung der Wär durch die Sonnenstrahlen auszumitteln, überzog zu dies Ende die Kugeln empfindlicher Thermometer mit verschied farbigem Taffent und setzte sie so bekleidet dem Sonnenlic aus. Hierbei zeigte das unbekleidete Thermometer 29°,37

dagegen das mit himmelblauem Taffent . 31°,70
— — — schwefelgelbem . . . 30,31
— — — hellgrünem 32,50
— — — apfelgrünem 32,80
— — — rosenrothem 31,25
— — — weifsem 30,31
— — — schwarzem 34,05

Bei einer spätern Reihe mit grofser Sorgfalt und sehr geeig ten Apparaten angestellter, vielfach modificirter Versuche es ihm unmöglich, aufserhalb des Spectrums die geringste

1 G. X. 359. Vergl. dessen Versuche über d. Erwärmung v schiedener Körper durch d. Sonnenstrahlen. Karls. 1811. 8. Vorr.

rmung wahrzunehmen [1]. Aus vielen mit Umsicht angestell-
n und gewifs nicht verwerflichen Versuchen, wobei nicht blofs
ssive Prismen von verschiedenem Glase, sondern auch solche
gewandt wurden, die mit Flüssigkeiten gefüllt waren, hat
ünsch [2] nachfolgende Sätze entnommen. Weder über, noch
ter dem Farbenspectrum und seinen Schweifen konnte irgend
e Erwärmung wahrgenommen werden. Hier wird von den
hweifen des Spectrums geredet und richtig bemerkt, dafs
Spectra keineswegs scharf begrenzt sind, sondern über die
lich sichtbaren Grenzen minder sichtbar hinausgehen, was
h aus der Beugung der Lichtstrahlen nothwendig folgt. Die
ke der Erwärmung im Spectrum richtete sich nicht nach
Intensität der Erleuchtung, denn namentlich war das blaue
t sehr hell, erwärmte aber nächst dem violetten Lichte am
igsten. Sehr wichtig aber ist ein von Wünsch zuerst be-
eter Unterschied, welcher auf der Substanz des Prisma's
ht. So gaben Prismen mit Alkohol, Terpentinspiritus und
ser gefüllt die stärkste Erwärmung im gelben Lichte, das
liche Glasprisma im vollen Roth, das gelbliche im farben-
Schweife an der Grenze das Roth; der Schweif des letz-
leuchtete aber auch stärker, als der des grünen, und dieser
er, als bei den Prismen mit Flüssigkeiten. Ein ganz far-
ses Prisma gab noch weit hellere farbenlose Schweife, als
elbliche, und in dem Schweife von jenem war die Erwär-
weit stärker, als in dem von diesem. Alle Prismen end-
wenn sie vermittelst der Sammlungslinse ein weifses, an
inen Seite mit einem rothen und gelben, an der andern
inem blauen und violetten Saume eingefafstes Bild ga-
erregten ganz nahe am rothen Saume, jedoch aufserhalb des-
, allezeit die schwächste Erwärmung; stärker war diese
then Saume selbst, noch stärker im gelben und am stärk-
m weifsen Focus.

Dafs Ritter [3] die eben erwähnten Versuche und die dar-
tnommenen Resultate sehr heftig bestritt, möge hier nur
fig erwähnt werden, da die Thatsachen zu genau und
rlich angegeben sind, als dafs man sie mit Zweifelsgrün-

G. XXXIX. 289.
Gehlen's Journ. für d. Chemie, Physik und Mineralogie. Th. VI.
Magazin der ges. naturf. Freunde. Th. I. p. 185.
Gehlen's Journal a. u. O. S. 633.

den vernichten könnte. Zudem wissen wir gegenwärtig, WÜNSCH allerdings auf dem richtigen Wege war, obgleic ihm nicht gelang, die Aufgabe vollständig zu lösen. Aus angegebenen Versuchen, woraus die ungleiche Wirkung schiedenartiger Prismen dargethan ist, läfst sich auch erkl dafs LESLIE die gröfste erwärmende Kraft in der Mitte Spectrums fand, was aber durch BERZELIUS[1] bestritten w Auch dieser streitige Punct wird durch die nachfolgenden örterungen Aufklärung finden.

68) Einen wichtigen Beitrag zur Beantwortung der fach ventilirten Frage hat BERARD[2] geliefert, dessen Versu um so viel bedeutender sind, weil er sich bei denselben eines liostats bediente, durch welchen die Sonnenstrahlen eine be big lange Zeit unverrückt auf die Thermometerkugeln fie Uebereinstimmend mit HERSCHEL fand er die erwärmende K der Sonnenstrahlen vom Violett an zunehmend, das Maxim aber im Rande des sichtbaren Spectrums da, wo die Ther meterkugel noch ganz mit sichtbaren rothen Strahlen bed war; von hier an nahm die Temperatur stets ab, je weiter Kugel in die Dunkelheit kam, und als sie sich aufserhalb des sic baren Spectrums befand, wohin HERSCHEL das Maximum se stieg das Thermometer um den fünften Theil so hoch i die Umgebung, als in dem äufsersten Roth. Wollte man hi aus einen unumstöfslichen Beweis für die Anwesenheit Wärmestrahlen aufserhalb des Spectrums hernehmen, so sch mir dieses zu voreilig, denn es ist nicht wohl bestimmbar, das allmälig abnehmende Spectrum ganz aufhört, aus d leicht begreiflichen Grunde, weil das Auge unter dem unv meidlichen Einflusse des helleren Lichtes das minder helle ni wahrnimmt und daher über die Grenze der gänzlichen Abw senheit des Lichtes kein zuverlässiges Zeugnifs ablegen ka Schon hierdurch könnte man die Hauptfrage, nämlich ü unsichtbare, im Spectrum vorhandene Wärmestrahlen, für er digt halten, allein wir besitzen über dieses Problem aufser de was neuerdings durch MELLONI zur definitiven Erledigung Frage geschehn ist, noch eine vorzügliche Arbeit, welche je näher gewürdigt werden mufs.

---

1 Jahresbericht. 1828. Th. VI. S. 12.
2 G. XLVI. 381.

69) Seebeck[1] unternahm in den Jahren 1806 bis 1808
ine lange Reihe von Versuchen, um die so oft ventilirte Auf-
abe zur endlichen Entscheidung zu bringen. Die bis dahin
rhaltenen widersprechenden Resultate führten zu der Vermu-
ung, dafs manche Nebenbedingungen nicht gehörig gewür-
gt seyn möchten, was auch schon aus den durch Wünsch
haltenen Erfahrungen mit gröfster Wahrscheinlichkeit her-
rging. Seebeck hatte besonders mit den Hindernissen zu
mpfen, die aus dem so leicht veränderten Zustande der At-
sphäre hervorgehn, und konnte diese nicht anders, als durch
r häufige Wiederholung der Versuche beseitigen. Mei-
s fiel das Licht durch ein Prisma in ein verfinstertes Zim-
, der erforderliche Theil des Farbenbildes durch einen Ein-
itt in einem Schirme, und zum Messen diente ein empfind-
s Luftthermometer mit geschwärzter Kugel, welches nach
n Versuche ausgeleert und für einen folgenden aufs Neue
lt wurde. Um bessere Uebereinstimmung mit den Resul-
früherer Versuche zu erhalten, nimmt er, wie gewöhnlich,
n kenntlich unterscheidbare Farben im Spectrum an und
die Grenze des Roth dahin, wo dieses dem Auge noch
ch erkennbar ist und sich in einen schmäleren schwächer
ten rothen Saum verliert. Aus einer sehr grofsen Menge
lobenswerther Umsicht angestellter und unter sich sehr
übereinstimmender Versuche gehn folgende Hauptresul-
ervor.

) In allen Farben des Spectrums findet Wärmeerregung
und diese ist jederzeit am schwächsten an der Grenze
iolett.

) Von hier an nimmt sie zu, wenn man durch Blau und
zum Gelb fortschreitet, und

) erreicht bei einigen Prismen ihr Maximum im Gelb,
lich beim *Wasserprisma.*

Einige andere Flüssigkeiten, namentlich eine ganz kurze
uflösung von Salmiak und Quecksilbersublimat, desglei-
rblose concentrirte Schwefelsäure, geben das Maximum
Mitte zwischen Gelb und Roth, also im Orange.

Prismen von gewöhnlichem weifsem Glase haben die
Wärme im vollen Roth.

---

[1] Berliner Denkschriften. 1818 u. 1819. S. 305. Edinburgh
of Sc. N. II. p. 358. Schweigger's Journ. Th. XL. S. 129.

6) Manche Prismen von gewöhnlichem, jedoch schon [illegible]haltig scheinendem, Glase geben das Maximum der Wärm[illegible] der Grenze des Roth,

7) Prismen von Flintglas dagegen jenseit des Roth, [illegible] die Kugel des Thermoskops sich außerhalb des wohlbegre[illegible] Farbenbildes befindet.

8) Die Wärme nimmt jenseit des Roth stetig ab, abe[illegible] allen Prismen findet noch einige Zoll über die Grenze des [illegible] hinaus Wärmeerregung statt.

Ohne Zweifel haben Herschel, Leslie und Engle[illegible] mit Flintglasprismen experimentirt, und außerdem haben [illegible]chon, Wünsch und Englefield Glaslinsen angewandt, das Licht mehr zu concentriren, die aber einen beding[illegible] Einfluß haben mußten, um so mehr, da sie nicht achroma[illegible] waren.

Um die Aufgabe noch weiter zu verfolgen, stellte See[illegible] Versuche mit einem Prisma von hellem weißem Glase an, [illegible]sen zwei Flächen mattgeschliffen waren, wovon die [illegible] Seite aber durchscheinend genug war, um mit der polirten hinlänglich helles Spectrum zu erzeugen. Bei diesem fiel Maximum der Wärme ebenso entschieden außerhalb des v[illegible] Roth, als es bei allen andern innerhalb desselben lag. W[illegible] die matte Fläche des Prisma mit Weingeist überstrichen kam ein lebhafteres Farbenbild zum Vorschein, dessen G[illegible] bei 6 Fuß Abstand um etwa 2 Par. Zoll tiefer herabging bei dem mit matter Fläche, wodurch also die Grenze des [illegible] welche hierbei die größte Wärme gab, an die Stelle des v[illegible] Roth bei polirten Prismen, also dahin gerückt wurde, wo [illegible]tere das Maximum gaben, so weit sich dieses ohne eigent[illegible] genauere Messung bestimmen ließ. Als Hauptresultat entn[illegible] Seebeck aus allen Versuchen, daß das Farbenbild nicht s[illegible] begrenzt ist, sondern daß sich das Licht desselben noch w[illegible]hin erstreckt, mindestens bis dahin, wo die größte Wärm[illegible]regung statt findet, wenn es daselbst auch vom Auge mi[illegible] stark empfunden wird. Unsichtbare, auf das Auge gar n[illegible] wirkende, aber doch erwärmende Strahlen sind hiernach eb[illegible] wenig denkbar, als solche, welche chemische Veränderu[illegible] erzeugen. Die Scheine oder Schweife, wie Wünsch sie ne[illegible] sind zweierlei Art; einige rühren von Streifen und Welle[illegible] den Prismen oder von unregelmäßiger Zerstreuung des Li[illegible]

an ihren Kanten her, und solche Prismen müssen verworfen oder am Rande mit einer Blendung versehen werden. Aber auch bei guten Prismen fehlen diese Scheine nicht und sie sind unter dem Roth blafsröthlich, wie über dem Violett blafsviolett. Diese hätte also HERSCHEL übersehn, und indem er die daselbst vorhandenen Wärmestrahlen durch Linsen zu concentriren dachte, müfste er vielmehr die Lichtstrahlen condensirt haben. Wenn er hierbei kein Licht wahrnahm, so kann die Ursache darin liegen, dafs es für sein anderweitig gereiztes Auge zu schwach war und obendrein von der geschwärzten Kugel zu wenig reflectirt wurde. Versuche mit gefärbten Gläsern oder ...gen sind allezeit mifslich, weil zu viele Nebenbedingungen ...ei ins Spiel kommen. Man sieht hieraus, dafs SEEBECK sich ...bte, blofs wärmende Strahlen in und neben dem Spectrum ...nehmen, was auch nicht wohl anders, als in Folge un...deutiger Thatsachen geschehn kann.

...70) Nur beiläufig angestellte Versuche über dieses Pro...n führten auch RUHLAND[1] zu dem bereits bekannten Re...te, dafs der Ort, wo durch das Farbenbild die gröfste ...me erregt wird, veränderlich sey; bei einigen Glaspris... und bei einem Prisma aus Borax habe er dasselbe über Roth hinausfallend, bei andern im Roth und bei noch an..., mit Flüssigkeiten gefüllten, im Gelb gefunden. Inwie... aber diese Thatsachen mit den von WÜNSCH und SEE... aufgefundenen mehr oder weniger übereinstimmen, kann ... genau ermittelt werden, da seine Versuche hierzu nicht ...ändig genug beschrieben worden sind. Von untergeordnetem ...he sind auch die Versuche von BADEN POWELL[2], wel... das Sonnenlicht gleichzeitig auf zwei Thermometerku...fallen liefs, deren eine weifs, die andere schwarz ange...n war, und dabei die erregte Wärme gröfser in der ...rzen, als in der weifsen fand, aber keinen mefsbaren Un...ied wahrnahm, wenn diese Sonnenstrahlen zuvor durch ...ckeres oder dünneres klares Glas fielen.

...1) Uebereinstimmend mit den von WÜNSCH, SEEBECK und

---

1 Ueber die polarische Wirkung des gefärbten heterogenen Lich... ...erl. 1817. S. 50.

2 Annals of Philosophy. 1824. T. VII. p. 324. 401. T. VIII. 287.

Rohland gefundenen Resultaten, aber ungleich tiefer und g nauer in die Sache eingehend, sind diejenigen, welche Mello erhalten hat, deren vollständigere Erörterung bei der Unter chung des Durchleitungsvermögens der verschiedenen Kör für Wärme (§. 310) eine geeignetere Stelle finden wird. I zwischen geht aus ihnen im Allgemeinen hervor, dafs die W me in den farbigen Strahlen des Spectrums an irgend ei Stelle ein Maximum hat und von hier aus nach beiden Sei abnimmt; der Ort dieses Maximums wird bedingt durch Substanz, woraus das Prisma verfertigt ist, sofern diese ni blofs stärker oder schwächer lichtbrechend wirkt, sondern z gleich auch die mit den Lichtstrahlen verbundenen Wärn strahlen mehr oder weniger beim Durchgehn zurückhält, v sich hauptsächlich daraus ergiebt, dafs die farbigen Lichtstr len, wenn man sie durch transparente Medien mit paralle Flächen fallen läfst, durch letztere einen ungleichen Wärn verlust erleiden. So weit seine Versuche hierher gehören, l merken wir nur, dafs es in jedem Spectrum vom Maxim ausgehend nach beiden Seiten hin *isotherme Zonen* geben m deren Lage durch Verrückung des Maximums gleichfalls e Aenderung erleidet und daher bei Prismen aus verschiede transparenten Substanzen verschieden ist. Werden also beiden Seiten der Farbe, worein das Maximum fällt und wel in der Regel die rothe ist, sechs isotherme Zonen angenomm so giebt im Kronglasspectrum[1]

Violett die schwächste Temperatur,
Indigo, Blau, Grün } die Temperatur steigend,
Gelb, Orange } Temperatur gleichfalls steigend,
Roth . . Wärmemaximum.

Erste	dunkle	Zone	. . .	Isotherme	des	Orange
Zweite	—	—	. . .	—	—	Gelb
Dritte	—	—	. . .	—	—	Grün
Vierte	—	—	. . .	—	—	Blau
Fünfte	—	—	. . .	—	—	Indigo
Sechste	—	—	. . .	—	—	Violett.

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 385. Poggendor Ann. XXIV. 648.

Nach späteren Versuchen desselben [1] mit einem Steinsalz-
ma wächst die Temperatur im Spectrum vom Violett zum
h und selbst über dieses hinaus bis zu einem Abstande,
her der Entfernung des Roth vom Gelb fast gleichkommt.
ere Aufklärung über die Ursache dieser Verschiedenheiten
n ihm folgende Erscheinungen [2]. Ein mit Wasser gefülltes
na wurde durch eine Kupferplatte so weit bedeckt, dafs
etwa 2 Lin. des brechenden Winkels frei blieben, und dann
las Maximum der Wärme im Orange zur Seite des Roth.
r darauf die Kupferplatte so verschob, dafs nur etwa
. über der Basis des Prisma's frei blieben, lag das Maxi-
im Gelb zur Seite des Grün. Auf gleiche Weise ver-
e er bei einem gewöhnlichen Glasprisma das Maximum in
nklen Raum oder in das Roth zu versetzen, je nachdem
Strahlen durch eine Zone an der Kante des brechenden
ls oder in der Nähe der Basis durchfallen liefs. Es
ihm hiernach, als ob ein Theil der Wärmestrahlen durch
chsende Dicke der Masse des Prisma's zunehmend ver-
t werde, und da das Steinsalz letztere Eigenschaft nicht
ist ein hieraus verfertigtes Prisma als ein normales zu
ten. Als Melloni daher die durch dieses gebrochenen
n durch zwei Wasserschichten und zwei Glasplatten von
ke der Zone in den angewandten Prismen fallen liefs,
es ihm, das Maximum der Wärme successiv in das
und Gelb, so wie in das Roth oder in die äufserste
desselben zu versetzen. Läfst man das ganze Spectrum
ine 2 bis 3 Millim. dicke, zwischen Glasplatten einge-
ne Wasserschicht fallen, so findet man das Maximum
peratur und die letzte dunkle Grenze näher zum Roth hin-
was sich noch deutlicher zeigt, wenn die Wasser-
dicker wird, denn bei einer 4 Millim. dicken fällt das
m schon in das Roth, und vermehrt man die Dicke
eiter, so rückt das Maximum in derselben Richtung
geht successive ins Orange und Gelb, so dafs es ins
n liegen kommt, wenn die Dicke der Wasserschicht
lim. beträgt. Hiermit übereinstimmend rückt auch die

---

[1] nales de Chim. et Phys. T. LIX. p. 418. Poggendorff's Ann.
486.

[2] s L'Institut N. 84. p. 410 in Poggendorff's Ann. XXXV. 561.

Grenze, wo gar keine Wärme mehr entwickelt wird, stets w ter vor. Aehnliche, aber geringere Wirkungen bringt eine e geschobene Glasplatte hervor. Wendet man statt der farblo Glasscheibe ein blaues Kobaltglas an, so verschwindet das Ora ein grofser Theil des Grün, etwas vom Blau, so wie die M vom Roth, und das Spectrum besteht aus einer Reihe ungl breiter und ungleich leuchtender, mit dunklen Streifen we selnder Zonen. Ein schön violettes Glas macht in der R das Gelb und Orange verschwinden, so dafs auf der einen S nur Roth, auf der andern Blau und Indigofarbe bleibt; ein thes Glas läfst nur die rothen Strahlen durch. Unter a diesen Modificationen behält das Maximum der Wärme best dig eine fast gleiche Lage, und zu beiden Seiten dessel nimmt die Temperatur in den successiven Zonen mit der gr ten Regelmäfsigkeit ab, die Wärmeerregung wächst also, verschiedenen Modificationen des Lichts unbeschadet, vom V lett zunehmend bis zum Roth.

72) Hiermit sind die Thatsachen genügend festgestellt, lein die bei weitem schwierigere Aufgabe ist, eine den Erscl nungen angemessene Theorie hierüber aufzustellen. Um verschiedenen zur Erklärung aufgestellten Meinungen übersi licher zu machen, wollen wir dieselben unter drei Abtheilun bringen, je nachdem sie der einen oder der andern von di wesentlichen angehören, obgleich es schwer ist, sie gehörig einander zu sondern.

a) Einige nehmen an, die Lichtstrahlen seyen von eig thümlichen Wärmestrahlen begleitet. Anhänger dieser sicht sind, oder waren vielmehr, alle diejenigen, we nach Newton's Hypothese das Licht von der Sonne ausg den Raum durchlaufen und auf die Erde fallen liefsen. können im Allgemeinen annehmen, dafs alle ältern Phys sich zu dieser Meinung bekannten, die auf jeden Fall die fachste ist. Ein Anhänger dieser Hypothese ist auch H schel, sofern er den Wärmestrahlen im Spectrum eine ge gere Brechbarkeit, als den Lichtstrahlen beilegt, und aus di ihrer geringeren Brechbarkeit würde es dann erklärlich s warum die gröfste Erwärmung im Roth oder selbst jer desselben wahrgenommen wird. Nicht minder nimmt Leslie[1] solche eigenthümliche, das Licht begleitende Wär

1 Edinburgh Phil. Trans. T. VIII. Abth. XXI.

strahlen an, da er nach seinen Versuchen mit dem Aethrioskop, wovon sogleich die Rede seyn wird, vom Himmel herabkom- mende Kältestrahlen wahrgenommen haben will; im Ganzen ber ist seine Meinung über das Wesen der Wärme hiermit icht im Einklange. Baden Powell[1] concentrirte die Farben es Spectrums durch eine Linse, und fand Wärmestrahlen aufser- alb der Grenze des rothen Lichtes. Nach seiner Ansicht kann n hiernach allerdings eigenthümliche Wärmestrahlen anneh- en, er trägt jedoch Bedenken, dieser Hypothese beizupflichten, die Wärme auf jeden Fall durch die Lichtstrahlen erzeugt wor- n sey und daher die letzteren diese Fähigkeit der Wärmeerzeu- ng noch haben könnten, ohne wegen ihrer geringen Intensi- das Auge zu afficiren.

Es ist schwer, die Meinungen der Physiker über diese ge genau zu ermitteln, denn sie reden meistens von einem sich bestehenden Wärmestoffe, zugleich aber von einer auen Verbindung zwischen Licht und Wärme, und stellen eine Sonderung der Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen Spectrum nicht eigentlich in Abrede, ohne sich jedoch über Unterschied beider und die eigenthümliche Art, wie Wärme h die Lichtstrahlen der Sonne erzeugt wird, bestimmt und uszudrücken, dafs eine eigentliche kritische Beurtheilung Meinung dadurch möglich würde. Die Ursache hiervon zum Theil in der Unbestimmtheit eines unendlich oft ge- chten Wortes, der sogenannten Strahlung, ohne dafs man h den Begriff, welcher hiermit verbunden werden soll, lich angegeben findet. Erregen die Lichtstrahlen Wärme, ennt man dieses *Wärmestrahlung* und das Product *strah- e Wärme*, ohne deren Wesen näher anzugeben, als dafs nit dem Lichte verbunden ist, was übrigens durch die Er- nung selbst gegeben wird und daher nur als eine An- der Thatsache, aber nicht als eine Erklärung derselben n kann. So redet Leslie[2] viel von strahlender Wärme, t sogar auch *Kältestrahlen* an, stellt aufserdem die Er- ng der Wärme durch Sonnenlicht keineswegs in Abrede, jedoch in die Aetiologie des letzteren Processes tiefer ein-

---

Annals of Philos. T. VIII. p. 81. 288 ff.
Inquiry into the Nature of Heat. Edinb. 1804. 8.

zugehn[1]. Beispielsweise führe ich nur Einiges an. So sa H. Davy[2]: „Es ergiebt sich, dafs die von der Sonne in B „wegung gesetzte Materie das Vermögen besitze, Wärme oh „Licht zu erregen, und dafs die Wärmestrahlen weniger brech „bar sind, als die Lichtstrahlen. Einige Naturforscher schloss „hieraus, dafs alle Strahlen, welche im Sonnenlichte Wärm „erregen, von denen verschieden sind, durch welche die Em „pfindung des Lichts hervorgebracht wird; allein dann würd „sie wahrscheinlich durch das Prisma ebenso von den farbige „Strahlen abgesondert werden, als dieses die letzteren scheidet Selbst Herschel d. J. in seiner classischen Bearbeitung der Wä melehre[3] sagt: „es geht klar aus den (eben erwähnten) Ve „suchen hervor, sofern die erwärmenden Strahlen von den e „leuchtenden getrennt werden, dafs beide einer Ablenkung v „ihrer Bahn unterworfen sind, und da sich die erwärmende „über eine gröfsere Fläche, als die erleuchtenden verbreite „so mufs ein Wärmestrahl (beam of radiant caloric) a „Strahlen von verschiedener Brechbarkeit bestehn, auch mu „die Brechbarkeit der letztern eine gröfsere Ausdehnung habe „als die der erstern.“ Allein hiermit ist das eigentliche We sen dieser Strahlen, und auf welche bestimmte Weise sie durc die Sonne erregt werden, zwar keineswegs genügend angege ben, es geht jedoch aus der hier wörtlich mitgetheilten Aeufse rung evident hervor, dafs in den von der Sonne aus gehenden, durch das Prisma aufgefangenen Sonnenstrahlen zw von einander verschiedene Strahlen, leuchtende und erwär mende, vereint sind, die nach der Brechung als getrennt er scheinen. Noch unzweideutiger äufsert sich Melloni[4] hier über. Aus einer langen Reihe von Versuchen fand er, dafs i den durch ein Prisma von Steinsalz gehenden Sonnenstrahle das Maximum der Temperatur nicht stets an der nämliche Stelle in dem dunklen Raume vorhanden ist, welcher über di

---

1 Beiläufig möge hier bemerkt werden, dafs ich die *Wärme strahlung* keineswegs in Abrede stelle. Die Wärme strahlt allerding aber als Wärme und nach eigenthümlichen Gesetzen, wie später z erörtern ist.

2 Beiträge zur Erweiterung des chemischen Theils der Natur lehre. S. 177.

3 Heat. In Encyclopaedia metrop. p. 291.

4 L'Institut. 1840. N. 315. p. 10.

Grenze des Roth hinausgeht, sondern sich bald mehr bald weniger von den Farben entfernt, wenn auch die Bedingungen, die Stärke der Strahlung und die Durchsichtigkeit der Atmosphäre, dieselben sind. Hieraus schliefst er, „dafs die des Lichts beraubten Wärmestrahlen (*rayons calorifiques dénués de lumière*) in gröfserer oder geringerer Quantität zu uns gelangen, je nach dem Zustande gewisser atmosphärischer Beschaffenheiten, welche keinen Einflufs auf die Durchlassung der leuchtenden Strahlen ausüben.“ Ein ähnliches Verhalten der chemischen Wirkungen[1] glaubt er auch Daguerre's Versuchen folgern zu dürfen. Es ist für die Untersuchung des vorliegenden Problems von gröfster Wichtigkeit, zuvor den Beweis festzustellen, dafs die Physiker von Wärmestrahlen reden, die keine Lichtstrahlen, sondern eigentliche Wärmestrahlen sind, von der Sonne ausgehen und auf jeden Fall die atmosphärische Luft durchdringen, ehe sie auf das Prima fallen.

(73) Die ältere Hypothese, wonach Wärmetheilchen, so wie Lichttheilchen, von der Sonne ausgesandt auf die Erde fallen und daselbst von den Körpern aufgenommen werden, läfst sich allenfalls gegen die zu machenden Einwürfe vertheidigen, wenn man das schlechte Hülfsmittel anzuwenden sich nicht scheuet, wankende Hypothesen stets durch neue, noch minder feste, zu unterstützen. Hiernach müfste angenommen werden, dafs nach einem unbekannten Gesetze gerade so viel des höchst elastischen Lichtstoffes aus der Sonne stets ausströmte, um in der begrenzten Sphäre das erforderliche Licht zu verbreiten, und dafs gleichzeitig und in Begleitung des Lichtes das gegebene Wärmequantum gleichfalls ausströmte. Letzteres müfste dann genau die nämliche Geschwindigkeit haben, als das Licht, da die Wärme dem Lichte weder vorauseilt, noch hinter demselben zurückbleibt. Ist eine solche absolute Gleichheit der Bewegung zweier, sich anderweitig sehr verschieden äufsernder, Stoffe schon an sich sehr unnatürlich, so läfst sich noch weniger darüber entscheiden, ob bei diesem Processe das Licht die Wärme oder die Wärme das Licht mit sich fortreifst. Fer-

[1] Il y a une très grande analogie entre ce phénomène et celui observé par M. Daguerre relativement à l'action diverse des radiations chimiques correspondantes à des hauteurs égales du Soleil au dessus de l'horizon.

sität, sey ein Licht von zu geringer Stärke, als dafs es vom A
empfunden werde, wie denn auch ein stärker glühender K
per mehr Licht verbreite, als ein minder stark glühender; all
dann müfste ein beleuchteter Körper stets genau so warm se
als ihn die Erhitzung bis zu dem jedesmal beobachteten H
ligkeitsgrade zu bringen vermöchte, und namentlich müf
Leuchtholz die Wärme schwacher Glühhitze haben. Nehm
wir die chemischen Eigenschaften des Lichtes hinzu[1], welc
durch Wärme nicht erzeugt werden, und die Veränderung
der Körper durch Wärme, die das Licht hervorzubring
nicht vermag, so kann von einer absoluten Identität nic
wohl die Rede seyn.

Untersucht man die Aeufserungen der Physiker etwas g
nauer, so überzeugt man sich bald, dafs sie sich über die b
den andern Arten der Vorstellung keineswegs bestimmt au
drücken[2]. Ist die Rede vom Uebergange der Wärme aus e
nem Körper in einen andern, von der specifischen und latent
Wärme, von den Wirkungen der Wärme, wie sich diese dur
die Ausdehnung, Flüssigmachung und Gasification äufsern,
ist unverkennbar von einem eigenthümlichen, dem Lichte w
der ähnlichen noch ihm verwandten Wärmestoffe die Rede, u
es müfste demnach, wenn durch Licht Wärme erzeugt wi
nothwendig eine eigentliche Umwandlung, ein Uebergang
einen verschiedenartigen Stoff statt finden. Sofern aber die
Erzeugung der sogenannten dunklen Wärme durch sogenann
leuchtende Wärme (Licht) statt findet und beide Arten d
Wärme sich strahlend zeigen, geht die Eigenthümlichkeit d
Lichtes nicht ganz verloren; eigentliche Umwandlung wird nic
angenommen, sondern nur eine Modification des Lichtstoff
Dieses geht dem Wesen nach aus den Aeufserungen der G
lehrten hervor; wir wollen die verschiedenen Modification
derselben in einigen Beispielen näher erläutern.

76) Nur im Allgemeinen reden LINK[3] und BERTHOLLET
von einer Gleichheit beider Stoffe, die sie aus der Aehnlichke

1 S. Art. *Licht. Chemische Wirkungen.* Bd. VI. S. 803.

2 WUTTIG's Hypothesen in G. XXII. 415, wornach Licht u
Wärme identisch und doch verschieden in ihren Wirkungen seyn so
len, überhebe ich mich näher zu erörtern.

3 Beiträge zur Physik u. Chemie. Rostock 1797.

4 Statique chimique. T. I. p. 194.

des Verhaltens beider folgern, DIZÉ[1] aber will aus eigenen Erfahrungen darthun, dafs beide ein und derselbe Stoff sind; inzwischen beziehen sich diese blofs darauf, dafs gebrannter Kalk, mit Wasser oder Säuren benetzt, Wärme und Licht entwickelt, letzteres nachdem er durch das Brennen blofs Wärme aufgenommen hat, die hier als Licht erscheinen soll, wonach beide also identisch seyn müfsten. Der Beweis ist, wie man leicht ersieht, ebenso wenig begründet, als ein anderer, daraus entnommener, dafs leuchtender Phosphor das Thermometer etliche hundertstel eines Grades steigen macht und elektrische Funken Wärme erzeugen.

Die Hypothese von der Identität des Lichts und der Wärme ist von keinem Andern, so viel ich weifs, so klar und scharfsinnig entwickelt worden, als von PRECHTL[2]. Wir müssen nach den *Wärmestoff* als eine äufserst feine und höchst elach-flüssige Materie betrachten, deren Theile sich in grofser fernung abstofsen, und die daher in Vergleichung mit andern erien als inponderabel zu betrachten ist, obgleich sie auch iehung gegen andere Körper hat und sich in ihrem Veren durchaus als materiell zeigt. Der Wärmestoff ist daher h das Universum verbreitet, um die Weltkörper aber anuft, auch in einzelnen Körpern bis zu einem hohen Grade Verdichtung vorhanden, und sucht sich vermöge seiner icität von diesen Körpern wieder zu entfernen, um mit der Umgebung ins Gleichgewicht zu kommen. Er ist ach einer verschiedenen Bewegung fähig, von der stärksten, e die Empfindung des *Lichts* mit seinen Abstufungen gt, bis zu der geringeren, welche die Erscheinungen der e hervorruft. Wird der Wärmestoff durch die Umwäl der Sonne oder auf jeden Fall durch irgend eine Kraft Himmelskörpers in Bewegung gesetzt und pflanzt sich Bewegung bis zur Erde fort, so erhalten wir einen Sonahl, welcher nicht erwärmend wirkt, so lange er in der lichen Geschwindigkeit verharret, dagegen in Wärme ht, sobald diese Geschwindigkeit seiner Bewegung durch nziehung irgend eines Körpers aufgehoben wird. Die ende Kraft der Luft gegen die Lichtstrahlen ist beim

[1] Journ. de Phys. T. VI. p. 177. G. IV. 410.

[2] G. XX. 305.

Durchgange derselben geringer, wird aber stärker, wenn strahlende Kraft des Lichts durch die Anziehung der Erde ge dieselben geschwächt ist[1], und daher erwärmt sich die L stärker in der Nähe der Erdoberfläche. Spiegelnde Körper wer die Lichtstrahlen zurück, ohne ihre strahlende Kraft zu elidir und können sich daher nicht erwärmen, dunkle dagegen wer erwärmt, weil durch Elision der strahlenden Kraft das Li zur Wärme wird, und ein ähnliches Verhalten findet bei dur sichtigen Körpern statt[2]. Das Klima der Planeten wird da durch die Höhe ihrer Atmosphären und ihre Masse bedingt. I chemischen Wirkungen der Lichtstrahlen beruhen im Allgem nen auf einer gröfseren Verwandtschaft des Sauerstoffs z Wärmestoff, dessen strahlende Kraft durch ihn stärker, durch die andern Bestandtheile der Körper elidirt wird, so der Sauerstoff vorzugsweise Wärme aus dem Lichte bin statt dafs die nicht strahlende, und daher nicht leuchten Wärme an alle Bestandtheile in gleicher Menge übergeht. Lichtstrahlen werden dadurch in Farben zerlegt, dafs ihre str lende Kraft vermindert wird; diejenigen müssen daher am stärks erwärmen, bei denen dieses bereits der Fall war, die dann e daher am wenigsten reflectirt werden, also die rothen, und ne diesen müssen noch andere, minder schnell bewegte liegen, die n stärker erwärmen. Durch Zuführung der Wärme in einen Kö wächst die Elasticität des Wärmestoffes, bis sie zur Strahlung üb geht und der Körper erst roth, dann weifs glüht, weil der Ueb gang zu schnell erfolgt, als dafs andere Farben entstehen könn

Es würde überflüssig seyn, noch weiter zu erwähnen, welche Weise die Erscheinungen des irdischen Leuchtens

1 Ist die strahlende Kraft des Lichtes eine Folge seiner schne Bewegung, so mufs beides durch die hinzukommende Anziehung Erde verstärkt, aber nicht geschwächt werden; die Ursache der Sch chung durch diese Ursache ist also nicht deutlich angegeben.

2 Wenn Prechtl die gröfsere Helligkeit aufserhalb unserer E in Zweifel stellt, so scheint mir hierin eine unnöthige Inconsequ zu liegen; denn eben die bekannte aufserordentliche Geschwindig des elastischen Stoffes bedingt seine Leuchtkraft, auch streitet di gegen die mit der Erhebung zunehmende Helligkeit. Ebenso we kann ein Meteorstein bei seinem Eintritt in die weniger dichte I und seinem Durchgange durch die Atmosphäre aus dieser Gluhh annehmen, da er sie bei der Berührung der Erde, also unter gün gern Bedingungen, wieder verliert. Hiernach müfste die nämliche sache erst Wärme erzeugen und dann wieder vernichten.

wärmens mit dieser Theorie zusammenhängen, da in Gemäſs-
it der neuerdings aufgefundenen Thatsachen die Unhaltbar-
it dieser Hypothese, ihrer anscheinend groſsen innern Con-
quenz ungeachtet, gegenwärtig sich leicht nachweisen läſst.

77) Wollen wir zuerst die Schwierigkeiten aufsuchen, die
ihr selbst liegen, so wird angenommen, daſs die schnellere
regung des Stoffes, welcher die Erscheinungen des Lichts
der Wärme erzeugt, die Phänomene des Lichtes, die lang-
ere aber die Phänomene der Wärme hervorruft. Nach den
hanischen Gesetzen ist aber die Kraft, welche ein Körper
bt, eine Function der Geschwindigkeit; das ätherische Flui-
müſste also als Licht die gröſste Gewalt ausüben, allein
och dehnt das Licht weder die transparenten noch die
eln Körper beträchtlich aus, wohl aber bewirkt dieses die
me. Lieſse sich auch diesem Einwurfe begegnen, so steht
das Verhalten der im Sonnenlichte erhitzten Körper ohne
n Zusammenhang da. Die strahlende Kraft, eine Folge
lasticität, wird aufgehoben und es entsteht Wärme da-
, daſs der Stoff durch Anziehung in Körpern gebunden
woher aber nimmt eben dieser Stoff, der nur durch sein
denseyn zur Wärme wird und um so mehr Wärme seyn
je mehr er gebunden ist, das Vermögen der irdischen
ung? Es genügt hierbei nicht zu sagen: der Wärmestoff
ugeführt, denn dieser Ausdruck, aus einer andern Hypothese
men, paſst in diese neue nicht. Das Licht wird Wärme durch
denseyn, und die Intensität der Wärme muſs der Stärke des
denseyns proportional seyn; die einmal gebundene Wärme
nicht ohne Grund das Bestreben, sich wieder zu bewegen,
ehr zum Lichte überzugehen, annehmen. Die Spiege-
nd überhaupt die Erscheinungen der Reflexion, aus der
ese der Wellen so leicht erklärbar, bleiben nach Prechtl
s räthselhaft. Da die Molecüle des angenommenen,
Strahlung, d. h. schnelle Bewegung, leuchtenden Stoffes
ehmend klein sind, so trifft ein jedes derselben als unmeſs-
ines Element ein ebenso kleines des spiegelnden Kör-
nd warum sollte dieses dasselbe nicht anziehen? Wir
uns durch das Zurückprallen elastischer Kugeln nicht
ren lassen, denn hierbei werden die Theilchen der ela-
Körper einander näher gerückt, springen wieder in
here Lage und bewirken dadurch einen Rückgang; ist

aber ein bewegtes Molecül einmal in Bewegung (Strahlung), kann diese nicht negativ (entgegengesetzt) werden, ohne vo = 0 zu werden; der Uebergang von positiver zu negativer Bewegung geht nothwendig durch 0, und da die Aufhebung der ge benen Bewegung eine Verwandlung in Wärme bedingen soll, muſs alles auf Körper jeder Art fallende Licht zu Wärme w den. Im rothen Lichte soll die Bewegung des Aethers am ringsten, daher die Wärme am stärksten seyn, die schnelle I wegung des weiſsen Lichts wird aber langsamer durch Wirkung des Prisma's; aber wenn das erste Prisma die Bewegung des weiſsen Lichtes so weit schwächt, daſs langsam rothe Strahlen entstehen, so müſsten die durch das erste m destens etwas aufgehaltenen blauen Strahlen durch ein zwe oder drittes u. s. w. so weit verzögert werden, daſs sie glei falls roth würden, was gegen die Erfahrung streitet. Die I pothese läſst ferner die Frage ganz unbeantwortet, wie es geht, daſs das wenig helle, nicht röthliche, vielmehr et bläuliche, Licht des Knallgasgebläses eine ungleich stärkere H im Quarz, Kalk, blanken Platin u. s. w. erzeugt, als das S nenlicht von der gröſsten bis zur geringsten Helligkeit und dessen Farbe immer seyn mag[1].

Vor allen Dingen aber kommt dasjenige in Betrachtu was aus der neuesten Erweiterung der Optik hervorg Prechtl ist zwar in seiner Hypothese auf gewisse Weise A hänger der Undulationstheorie, denn er leidet die Lichtersch nungen aus Bewegung ab, allein diese Theorie war noch ni in ihrer gegenwärtigen vollständigern Ausbildung vorhand Nehmen wir sie so, wie sie jetzt besteht, so wäre es ni bloſs ein wahrhaft überflüssiges, sondern auch ein zweckl Bemühen, die Identität von Licht und Wärme darthun zu w len. Ueberflüssig wäre dieses Bestreben, weil sich doch in That überhaupt kein Grund, viel weniger ein triftiger oder genügender, auffinden läſst, welcher uns abhalten könnte, ei eigenthümlichen, vom Lichte verschiedenen, Wärmestoff an nehmen, vielmehr werden wir hierzu gezwungen, wenn die auffallende Verschiedenheit der Wärmephänomene und des Lichts scharf ins Auge fassen. Als zwecklos aber n

1 Vergl. Parrot Entretiens sur la Physique T. IV. p. 306. I chie's Versuche in Phil. Trans. 1827. P. II. p. 139.

dasselbe erscheinen, wenn man berücksichtigt, dafs die Lichtphänomene sich so einfach und genügend erklären lassen, sobald man sie für sich allein nimmt und sie nicht gewaltsam mit den Wärmephänomenen verbinden will. Die Erscheinungen des Lichts sind die Wirkungen des durch das Universum verbreiteten Lichtäthers, welcher so fein ist, dafs seine stärksten Vibrationen nur durch die eigenthümlichen zarten Gesichtsnerven empfunden werden. Die gleiche Geschwindigkeit, womit die Undulationen dieses Aethers als sogenannte Lichtstrahlen die entferntesten Räume durchlaufen, ohne durch Hinstreifen neben andern Körpern merklich verzögert oder beschleunigt zu werden, beweiset wohl genügend, dafs derselbe der Anziehung gegen andere Körper wenig oder gar nicht unterworfen ist. Mir scheint dieses nichts weniger als schwer begreiflich, da auch die Luft, obwohl sie von einigen Körpern absorbirt, auch als gröbere und bei weitem minder elastische Flüssigkeit von allen etwas angezogen wird, dennoch in den Körpern im Allgemeinen nicht verdichtet wird und keine Atmosphären um sie bildet. Wie lächerlich würde es uns aber erscheinen, wenn jemand behaupten wollte, die aus der Luft in feste Körper übergehenden Schallwellen würden in diesen verdichtet und brächten dann eine Menge vom Schalle gänzlich verschiedener Erscheinungen hierdurch hervor, und doch tragen Manche kein Bedenken, dieses vom Lichtäther zu behaupten. Wird letzterer in einigen Körpern durch Anziehung verdichtet, was übrigens gar nicht erwiesen und zur Erklärung der Phänomene keineswegs erforderlich ist, so kann diese Verdichtung nur eine geringe, die Lichtwellen unbedeutend afficirende, auf keine Weise die Ursache der Verwandlung in ein Wesen heterogener Art seyn.

78) Unter die Anhänger der Hypothese von der Identität des Lichts und der Wärme gehört vorzüglich auch Biot[1], und er mufs hauptsächlich genannt werden, weil so Viele, durch seine Autorität geleitet, ihm hierin gefolgt sind. Es würde überflüssig seyn, im Einzelnen nachzuweisen, wie er die verschiedenen Erscheinungen des Lichts und der Wärme mit dieser Hypothese in Einklang zu bringen sucht, und es genügt vielmehr nur nachzuweisen, dafs er wirklich beide dem Wesen

1 Traité de Physique. T. IV. p. 612 u. a. v. a. O.

nach für identisch hält, indem das Licht zur Wärme werd soll, wenn seine grofse Geschwindigkeit zur langsameren B wegung oder zur Ruhe übergeht[1]. Man darf hierbei ni übersehen, dafs Biot zu dieser Hypothese auf gewisse We gezwungen war; denn da er das Licht als materielles We von der Sonne ausgehen und auf der Erde anlangen liefs, mufste er nothwendig, um die Wärmeerregung im Brennpun zu erklären, entweder die oben (§. 73) bereits als naturwid dargestellte Hypothese von eigenthümlichen, die Lichtstrahl begleitenden, Wärmestrahlen annehmen, oder eine Verwandlu des Lichts in Wärme zugestehn.

Es liefsen sich noch weit mehrere Gelehrte anführen, durch die Aehnlichkeit beider Phänomene, der Lichtstrahlu und der Wärmestrahlung, veranlafst wurden, eine Identität b der Potenzen anzunehmen, wenn sie auch Bedenken trug diese Ansicht bestimmt auszusprechen; inzwischen wollen unter diesen doch Leslie[2] nennen, welcher noch obendr viel über Wärme geschrieben hat.

79) Mit der Hypothese einer Gleichheit der Wärme u des Lichts ist eine andere gleichsam nothwendig verbund die wir hier näher prüfen wollen, um so mehr, da sie sch früher gelegentlich erwähnt werden mufste. Wird das Li in Wärme verwandelt, auf welche Weise dieses auch gesch hen mag, so mufs nothwendig die Wärme durch das una hörlich zur Erde gelangende Licht bedeutend und weit stär vermehrt werden, als sich mit der Erfahrung vereinigen lä Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, nahm man zur sogenan ten *Strahlung* seine Zuflucht, die man die irdische nannte, w bei Täuschungen um so weniger zu vermeiden waren, je g wisser und ohne Widerrede es eine *Wärmestrahlung* gie Letztere einfach aufgefafst besteht darin, dafs die in irge einem Körper aufgehäufte stärkere Wärme an einen mine stark erwärmten Körper, ohne Zwischenmittel und unmittelb

1 La transmission plus abondante à mesure, que le rayonnem calorifique s'approche de l'état de lumière, semble indiquer le prog d'un même phénomène qui, dans ses modifications diverses agit nous inégalement, comme si les émanations calorifiques n'étoient de la lumière obscure, et la lumière du calorique lumineux.

2 Inquiry into the nature of Heat. 1804. Philos. Trans. 18 P. I. prop. 40.

Berührung beider Körper, übergeht. Man glaubte sich hierdurch berechtigt, anzunehmen, dafs die auf der Erdoberfläche erzeugte, aus dem Lichte entstandene Wärme nach eintretender Dunkelheit wieder zum leeren Himmelsraume zurückkehre. Wo sie dort bleibe, ob sie sich im Weltenraume zerstreue und diesen nach und nach erwärme, diese nicht blofs natürliche, sondern wohl nothwendige Frage blieb unbeantwortet; blofs Biot deutet beiläufig an, die Wärme möge wohl auf irgend eine unbekannte Weise der Sonne wieder zuströmen und so abwechselnd zwischen Sonne und Erde kreisen. Autoritäten für diese Meinung anzuführen würde unnöthige Weitläuftigkeit veranlassen, die um so mehr vermieden werden kann, da wohl mit äufserst wenigen Ausnahmen alle Physiker diese sogenannte ...ische Wärmestrahlung annehmen und in der durch Wells[1] ...gestellten Theorie des Thauens eine schöne Anwendung und ...stätigung derselben finden. Zweckmäfsiger wird es seyn, ... Thatsache, wie sie allein vorstellbar seyn kann und noth...dig seyn mufs, deutlich im Einzelnen zu entwickeln, ...ptsächlich um den unbestimmten Ausdruck *Strahlung* von ... magisch wirkenden Achtung zu entkleiden, die ihm zu ...il geworden ist und die gewifs in dem umgebenden Dun... Viele zu Anhängern der Theorie gemacht hat, von denen ...ch keiner, so viel mir bekannt, sich jemals zu einer Ana... der Thatsache verstanden hat. Aufserdem ist es nothwendig, ...nigen Apparat hier zu beschreiben, dessen man sich vor...weise zur Wahrnehmung dieser Strahlung bediente.

...80) Die ganze Hypothese, den Uebergang des Lichts zur ...me und die Strahlung der letztern betreffend, wird stets ...urz angegeben. Das Licht, namentlich das der Sonnenstrah... erzeugt Wärme. Dieses ist Thatsache, die nicht wider...hen werden kann. Hiernach ist die Wärme einmal vor...n und sie müfste ohne Unterlafs zunehmen, allein sie ...t wieder zurück und zwar vorzugsweise gegen den hei... Himmel, wobei diejenigen Bedingungen und Modificatio...tatt finden, die im Artikel *Thau* bereits erwähnt worden ...und welche hier zu wiederholen nicht nöthig scheint. Da...ird stillschweigend vorausgesetzt, dafs die Quantitäten des ...ahlenden Wärmestoffs, einige Schwankungen nicht ge...

1 S. Art. *Thau*. Bd. IX. S. 687.

rechnet, welche die ungleichen Wechsel grössserer Hitze oder Käl einzelner Jahre und Jahreszeiten bedingen, sich stets d Gleichgewicht halten, obgleich es mit grofsen Schwierigkeit verbunden seyn dürfte, den oft so enormen Unterschied d intensivsten und geringsten Kälte der Winter und Wär der Sommer an den nämlichen Orten hiermit in Einklang bringen.

Das Instrument, wodurch die statt findende Strahlung d Wärme von der Erde gegen den heitern Himmel oft bestäti gefunden wurde, soll von WOLLASTON erfunden worden seyn welcher damit schon vor 1814, also vor dem Erscheinen d Werkes von WELLS über den Thau, Versuche anstellte u BIOT [2] eine Nachricht davon mittheilte, die von diesem öffen lich bekannt gemacht wurde. Auch LESLIE macht auf die E findung Anspruch, allein dieser machte von seinem Instrume erst im Jahre 1817 Gebrauch [3]. Der Apparat, *Aethrioskop* (v αἰθὴρ die helle Luft und σκοπέω ich sehe) genannt, beste aus einem Hohlspiegel mit einem empfindlichen Thermome in seinem Brennpuncte, den man gegen den heitern Himn richtet, und wenn dann das Thermometer sinkt, so betrach man dieses als Folge einer Entfernung der Wärme gegen d Himmel, der sogenannten irdischen Strahlung. MURRAY [4] l
Fig. ein tragbares Aethrioskop angegeben. Dieses besteht aus ei
89. Glaskugel B auf einem kleinen hölzernen Gestelle, welche z Hälfte mit Weingeist gefüllt ist. In diese wird das En einer Thermometerröhre CD eingeschliffen, deren Scale zuglei als Säule dient, um den Hohlspiegel A zu tragen. Im Bren puncte des letztern befindet sich die kleine Kugel b des Lu thermometers, und zugleich ist er mit einem Deckel v schlossen, den man wegnimmt, um die Strahlung zu b obachten. LESLIE [5] hat die anfängliche Einrichtung beibeh

1 Edinburgh Philos. Journ. N. IX. p. 176.

2 Bulletin des Sciences par la Soc. Philom. Nov. 1816. Ve Journ. of the Royal Instit. T. III. p. 184.

3 Edinburgh Philos. Trans. T. VIII. p. 484.

4 Edinburgh Phil. Journ. N. XII. p. 356.

5 Description of Instruments, designed for extending and proving meteorological observations. Edinburgh 1820. 8. Ueb von BRANDES. Leipz. 1823. Darin ist indefs das Aethrioskop nicht gens beschrieben, wohl aber in ROBERT NICHOLSON's Anweisung

ten[1], inzwischen ist, wo nicht bei den frühern, mindestens bei den spätern Instrumenten die unterste Kugel mit einer auswärts blanken messingnen so umgeben, dafs zwischen beiden ein kleiner Zwischenraum bleibt; bei andern Exemplaren ist die untere Kugel, etwa doppelt so grofs als die obere, mit einer Hülle von Leinwand umgeben, um die Strahlung derselben zu verhüten. Nobili[2] verglich ein von Newman in London verfertigtes Exemplar mit seinem Thermomultiplicator, wobei jedoch das Uebergewicht sehr auf die Seite des letztern Instrumentes fiel. Hiernach ist die Scale des Aethrioskops tausendtheilig; es lassen sich dabei noch halbe Grade füglich schätzen und diese entsprechen 0,05 Grad des Centesimalthermometers. Wird der Deckel geöffnet, so steigt die Flüssigkeit nicht um 30 bis 40 Grade der tausendtheiligen Scale, ja unter günstigen Umständen wohl bis 50 Grade[3]. Dennoch war Nobili's Thermomultiplicator[4] so viel empfindlicher, dafs er, mit seinem Spiegel gegen den heitern Himmel gerichtet, sogleich eine Ablenkung der Nadel um 120 Grade gab, worauf dann die Nadel nahe bei 90°, also dem Maximum der Ablenkung, stehn blieb. Beim Richten beider Instrumente gegen eine Wärmequelle, die allmälig abnahm, kam das Aethrioskop zum Stillstande, während die Nadel des Thermomultiplicators noch Bogen von 25° bis 30° durchlief. Vorher ergab die Beobach-

---

...ntnifs, Prüfung, Anwendung und Verfertigung aller Arten Thermometer, Barometer, Hygrometer, Pyrometer, Aräometer, Hydrometer u. s. w. 2te Aufl. 1833. 8. S. 72.

1 Er bedient sich dazu desjenigen seiner Differentialthermometer, welches Bd. II. S. 539 beschrieben und Fig. 168 gezeichnet worden ist.

2 Antologia di Firenze N. 136. Poggendorff's Ann. XXVII. 455.

3 Die Reduction ist leicht, da 10 Grade des Aethrioskops auf 1 Grad der Centesimalscale gehn. Ob es aber möglich sey, eine unter allen Umständen sich gleichbleibende Correspondenz zwischen den Graden des Aethrioskops und eines genauen Thermometers zu erhalten, mufs ich nach meinen Versuchen mit Leslie'schen Differentialthermometern bezweifeln; ein Aethrioskop habe ich nie gebraucht. Übrigens könnte man statt dessen sich auch füglich gewöhnlicher Thermometer bedienen, die sich für die hierzu erforderlichen Temperaturen füglich so verfertigen lassen, dafs man an ihnen noch halbe Zehntelgrade unterscheiden kann.

4 S. Art. Thermometer. Bd. IX. S. 999.

tung, dafs eine Ablenkung von 66° ungefähr 1 Grade und ei Ablenkung von 44° ungefähr 0,5 Grad des Aethrioskops z gehörte, woraus die unglaubliche Empfindlichkeit des erste Instrumentes genügend hervorgeht. Bedient man sich aber c Kunstgriffes, die leitenden Drähte umzukehren, wenn die N del eine gewisse Entfernung vom Nullpuncte angenommen h so geht sie dann nach der andern Seite, und die Empfindlic keit des Apparates wird dadurch verdoppelt, so dafs man na Nobili wohl im Stande ist, den 6000sten Theil eines Gra der achtzigtheiligen Scale wahrzunehmen. Melloni[1] bedie sich gleichfalls seines Thermomultiplicators zu Strahlungsv suchen, und sah die Magnetnadel augenblicklich auf Kälte ze gen, wenn er sich jenes feinern Instrumentes statt des Th mometers bei dem Versuche bediente. Inzwischen genügt schon, die Säule blofs auf eine Fensterbank zu stellen und c Reflector gegen den Himmelsraum zu richten, um die auf Kä deutende Abweichung der Magnetnadel wahrzunehmen, und zv eine desto stärkere, je ruhiger die Luft und je freier von Dü sten sie ist. Kommen Wolken in diejenige Gegend des Hi mels, gegen welche die Axe des Reflectors gerichtet ist, nährert sich die Nadel sofort dem Nullpuncte wieder. Di Versuche Melloni's, wonach es der verticalen Stellung c Aethrioskops nicht bedarf, sondern nur einer Richtung geg den Himmel, um Strahlungsphänomene wahrzunehmen, si unter Voraussetzung der Zuverlässigkeit der erhaltenen Result und der Abwesenheit anderweitig bedingender Einflüsse meisten für eine Strahlung entscheidend; dennoch aber erford die Wichtigkeit der Sache eine strenge Prüfung des gan Problems.

81) Wie grofs und allgemein auch der Beifall seyn m womit die durch Wells zur Erklärung der Phänomene c Thauens aufgestellte Hypothese von einer Strahlung der auf Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen erzeugten Wärme geg den heitern Himmel aufgenommen worden ist, so lassen s doch die sehr gewichtigen und nach meiner Ansicht unwiderle lichen Argumente gegen dieselbe bei unparteiischer und grü licher Prüfung durchaus nicht verkennen; ich habe mich da

1 L'Institut 1835. N. 89. Poggendorff's Ann. XXXV. 570.

schon früher als Gegner derselben bekannt[1], und erlaube mir jetzt die Sache abermals etwas näher zu beleuchten. Zuvörderst darf nicht übersehn werden, dafs man auf einige Thatsachen gestützt diese Strahlung wie eine *qualitas occulta* hingestellt hat, ohne die Aetiologie derselben nachzuweisen und sie mit dem übrigen gesammten Verhalten der Wärme in Einklang zu bringen. Existirt eine solche Strahlung, so mufs sie durch irgend eine Ursache erzeugt werden, und diese Ursache mufs entweder im Wesen der Wärme selbst, oder in der Erde, welche die erhaltene Wärme wieder zurückstöfst, oder im leeren Himmelsraume, welcher sie anzieht, oder endlich in der vereinten Wirkung einiger von diesen gegründet seyn[2]. Wird gleich in der Theorie des Thauens das durchaus naturwidrige Verhalten der Erde so hingestellt, als ob sie die aufgenommene Wärme wieder von sich stiefse und gleichzeitig den dadurch erzeugten Mangel durch Aufnahme von Wasserdämpfen wieder zu compensiren suchte, so kann doch ein solcher innerer Widerspruch unmöglich bei näherer Prüfung als statthaft gelten. In dem Raume, wohin man die Wärme entweichen läfst, kann die Ursache unmöglich liegen, denn nicht zu gedenken, dafs die Grenze oder der eigentliche Ort, wohin die Wärme entweichen soll, gar nicht bestimmt angegeben wird, mithin jeder Anhaltpunct für die Untersuchung fehlt, ob daselbst eine solche anziehende Kraft vorhanden seyn könne, führt der weitere Erfolg dieser Hypothese zu einer Menge innerer Widersprüche. Strahlt die Wärme wirklich mit solcher Geschwindigkeit, dafs sie in einer Nacht oder wohl gar in wenigen Stunden über die Grenze der Atmosphäre hinaus gelangt, so ist kein Grund vorhanden, wodurch diese ihre Bewegung aufgehoben wird, sie mufs sich also in den unmefsbar grofsen Räumen zerstreuen, und während man die Anhäufung derselben auf der Erde beseitigt, geräth man in eine noch gröfsere Schwierigkeit des fortdauernden Verlustes der Sonne, die nach Jahrtausenden nicht ohne Erfolg bleiben könnte, wenn man berechnet, was ein geringer Theil der von der Sonne nach allen Seiten

1 In meinem Programm: Sacra natilitia Divi Caroli Friderici cet. ... nat. G. W. Muncke. 1819. 4. Vergl. Schweigger's Journ. Th. XXX. ...93. Handbuch d. Naturlehre. Th. I. S. 704.

2 Vergl. Baumgartner's Zeitschrift. Th. III. S. 55.

ausgesandten Wärme von der Erde aufgefangen wird. Dieses Argument bewog vermuthlich BIOT zu äufsern, die von der Erde ausgestrahlte Wärme möge wohl durch einen gewissen unbekannten Procefs wieder zur Sonne zurückkehren, allein dieses wäre dann immer nur ein unmerklich kleiner Theil des gesammten Verlustes. Tritt am Tage eine Wolke vor die Sonne, so behält der beschattete Theil der Erde seine erhaltene Wärme nicht etwa ohne Vermehrung bei, sondern er verliert sie augenblicklich. Wollte man diesen Verlust gleichfalls als eine Folge der Strahlung betrachten[1], so müfste die Wolke am Tage das Gegentheil bewirken, als bei Nacht, denn während der Nacht hindert sie die Strahlung und hebt sie ganz auf, und nähme man, um dieser Schwierigkeit zu entgehen, eine andere Ursache dieses Verlustes, etwa das Aufsteigen der erhitzten Luft und der Dämpfe, an, so liefse sich diese Ursache auch für die nächtliche Abkühlung in Anspruch nehmen.

82) Hiernach kann also die Ursache der nächtlichen Strahlung nicht in der Erde liegen, denn diese nimmt vielmehr, übereinstimmend mit dem Verhalten aller Körper überhaupt, die ihr dargebotene Wärme in Folge der allgemeinen Anziehungskraft der Materie auf und bindet sie, kann sie daher unmöglich in einem solchen Grade wieder von sich stofsen, dafs sie dadurch gleichzeitig die an die Wasserdämpfe gebundene begierig wieder anziehn sollte, mindestens ist nirgends nachgewiesen worden, ob und wie sie durch das Licht und dessen Abwesenheit hierzu disponirt werden könnte. In den Himmelsräumen darf diese Ursache gleichfalls nicht gesucht werden, denn man kann unmöglich einem unbekannten Leeren eine solche Kraft beilegen, und sie müfste daher in der Wärme selbst vermöge deren eigenthümlicher Beschaffenheit liegen.

1 Hierzu scheint BOUSSINGAULT, ein eifriger Anhänger der Strahlungshypothese, geneigt. Er erzählt in Ann. de Chim. et Ph. T. LVII. p. 113, dafs zu Guaillabamba in Quito auf dem sandigen und hochliegendem Boden die Wärme am Tage und die Kälte bei Nacht so stark sey, weil es für die Strahlung so günstig liege. Wenn bei Tage die Hitze unerträglich sey und eine Wolke vor die Sonne trete, so entstehe plötzlich eine empfindliche Kälte (un froid assez vif). Es klingt dieses fast, als nehme die Wärme den Augenblick der Nichtbeachtung durch die Sonne wahr, um sofort wieder in den Himmelsraum zu entweichen.

erst bemerkt werden, dafs bei
orausgesetzt wird, es sey ein
ärme vorhanden, indem diese
Erde zuströme, oder das von
e Licht in Wärme verwandelt
d aus den angegebenen Grün-
nbarer Wichtigkeit ist indefs
las Phänomen der Erwärmung
n am Tage und ihrer Abküh-
mal vorhanden, die Existenz
sich nicht in Abrede stellen,
gut, als jeder andere Kör-
var gegen die sie umgebende
on liege in der eigenthümli-
der wir, wenn auch ohne
en Grundes, die Eigenschaft
weifelhafter Erfahrungen bei-

tes läfst sich keinen Augen-
rf eben in Beziehung auf das
rsehn werden. Zuerst strahlt
einen Ueberschufs gegen käl-
uch wirklich durch den lee-
eben wollen, zu Körpern in
le über, das Stattfinden einer
leeren Raum ist aber durch
ler Erde selbst statt findende,
sich selbst bewiesen werden
ir allerdings, dafs die Wär-
einen kältern strahlt, allein
len, dafs ein wärmerer Körper
ärmeres Medium dem kältern
n Medium zusendet, wie man
Wärmestrahlen die mehr er-
lurchdringen und dem höhern
zueilen sollen. Eine solche,
nan sie bisher aufgefafst hat,
hese mufs man daher ent-
inen genügenden Erklärungs-
en Verhaltens aufsuchen. Ehe

dieses aber mit einiger Sicherheit geschehn kann, müssen erst die Gesetze der Wärmestrahlung, des Durchganges Wärmestrahlen durch die verschiedenen Körper und das hältnifs derselben zu den Lichtstrahlen näher untersucht den, und wir verlassen daher diese Betrachtungen, um nachdem dieses geschehn seyn wird, wieder anzuknü (§. 363).

83) c) Nach einer dritten Hypothese, welche mehrere tere und auch wohl einige neuere Anhänger zählt, sind Lichtstrahlen nicht an sich warm, sondern erregen, ohne s in Wärme umgewandelt zu werden, nur die in den Kör selbst vorhandene, in einem Zustande der Ruhe oder des bundenseyns befindliche Wärme. Um von den verschied Autoritäten nur einige der bedeutendsten anzuführen, erw ich J. A. de Luc[1]. Dieser nimmt an, die Lichtstrahlen s nicht an sich warm, sondern würden erst durch ihre Ver dung mit dem Feuerstoffe zur Wärme umgewandelt. Es ist inz schen schon oben (§. 3) erwähnt worden, dafs seine, auf la unbegründete Hypothesen gestützte Theorie eine genauere P fung nicht verdient. Auch Flaugergues[2] hält die Sonn strahlen an sich nicht für warm, sondern nur für Wärme regend. Am wichtigsten ist wohl die Hypothese, welche W. Marschall v. Bieberstein[3] hierüber aufgestellt hat. D ser entlehnte aus seinen astronomischen Forschungen eine sich ziemlich consequente Hypothese über das Wesen des Li und der Wärme. Beide sind nach ihm eigenthümliche materi Stoffe, von denen das Licht sich stets im Weltraume bew die Wärme aber durch eine Art von Anziehung mit den W körpern in Verbindung bleibt. So ist die Wärme unserer E an diese gebunden und erhebt sich nur bis zu einer gewis Höhe über ihre Oberfläche. Das Licht entbindet die Wä auf unserer Erde, entfernt sich aber der Schnelligkeit sei Bewegung gemäfs augenblicklich wieder und läfst die Wä an manchen Orten stark angehäuft zurück. Diesem gem zeigt sich an jedem Orte eine tägliche und jährliche Ebbe u Fluth des Wärmestoffs, jene in Folge der täglichen Axend

1 Lettres physiques et mor. T. V. L. 142.
2 Journ. de Phys. T. LXXXVII. p. 270.
3 V. Zach monatliche Correspondenz. Th. XX. S. 515.

hung, diese des jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne. Außerdem können manche sich zeigende Verschiedenheiten der Temperatur aus dem chemischen Verhalten der Wärme gegen die Atmosphäre und gegen irdische Körper erklärt werden. Auf ähnliche Weise, als unsere Erde, verhalten sich auch andere Weltkörper, und wir können daher nicht schließen, daß die der Sonne nähern oder entferntern eine diesem Abstande proportionale größere oder geringere Wärme haben.

Diese Hypothese ist von den Physikern kaum überhaupt beachtet worden und dennoch hat sie allerdings viel für sich; sie vermeidet eine Menge von Schwierigkeiten, die einer jeden andern entgegenstehn, und wollte man auch anstehn, sie thatsächlich für genugsam begründet zu betrachten, so dürfte es doch nichts weniger als leicht seyn, sie genügend als mit der Erfahrung im Widerspruch stehend zu widerlegen. Auf jeden Fall ist der Satz, daß die eigenthümliche Beschaffenheit der Himmelskörper ihre Temperatur bedinge, welcher damals noch mehr den Reiz der Neuheit hatte, sicher sehr wohl begründet, und was man hierüber, bloß aus den Entfernungen entnommen, aufzustellen pflegt, gehört gänzlich in das Gebiet unerwiesener und unerweisbarer Hypothesen. Wir müssen auch diese Theorie später noch in den Kreis der nähern Untersuchungen ziehn.

84) Früher war ich selbst entschiedener Anhänger der eben erwähnten Hypothese, und ich gestehe, daß ich noch jetzt zwischen dieser und einer andern, demnächst zu erwähnenden Gedanke, sofern man überhaupt bei einer allseitig so schwierigen und dunklen Aufgabe wagen darf, sich zu irgend einer Theorie zu bekennen. Hierzu bewog mich insbesondere ein lange Zeit übersehenes, allerdings höchst merkwürdiges Phänomen, welches ich mir erlaubt habe durch den Ausdruck: Struve's *Problem* zu bezeichnen, weil dieser berühmte Astronom dasselbe bei der Versammlung der Naturforscher und Aerzte in Hamburg zuerst einer nähern Discussion unterwarf[1]. Die Aufgabe ist einfach keine andere, als zu erklären, wie es zugeht, daß die Spinnefäden im Focus der stärksten Refractoren durch das stärkste, concentrirteste Sonnenlicht nicht zerstört werden. Schon früher waren Physiker auf diese auffallende

1 Baumgartner's Zeitschr. Th. II. S. 53. Poggendorff's Ann. ... 467.

Thatsache aufmerksam geworden, unter denen MARAT[1]
erste seyn dürfte, denn er fand bei seinen Versuchen mit d
Mikroskop, dafs sehr kleine Körper im Focus nicht wa
wurden, und folgerte hieraus, dafs die Sonnenstrahlen an s
nicht warm seyn könnten, sondern nur aus den getroffe
Körpern Wärme entwickelten. Auch v. TSCHIRNHAUSE
nahm die geringe Wärmeerregung wahr, welche seine grof
Brennlinsen in sehr feinen Drähten erzeugten. Als v. L
TROW die Lösung dieses Problems in Anregung gebracht ha
erfuhr ich durch MOLL, dafs WOLLASTON und ARAGO s
hierüber unterhalten hätten, ihre Erklärung aber war sein
Gedächtnifs entfallen, jedoch erhielt ich dieselbe später du
Capitain KATER, welcher sie von WOLLASTON erhalten ha
Hiernach soll jeder Körper im Verhältnifs seiner Masse Wär
aufnehmen, aber im Verhältnifs seiner Oberfläche ausstrahl
Ein Spinnenfaden ist als ein Cylinder zu betrachten, und s
fern bei Cylindern von gleicher Länge sich die Oberfläche
Masse wie $2r:r^2$ verhält, mithin die Masse im quadratisch
die Oberfläche aber im einfachen Verhältnisse abnimmt, so lä
sich eine Abnahme denken, wobei die Masse gegen die Ob
fläche eine verschwindende Gröfse wird, wie bei einem Spi
nenfaden, dessen Wärmestrahlung der Oberfläche proportior
daher überwiegend grofs gegen die der Masse proportion
Aufnahme der Wärme seyn mufs, so dafs derselbe zu v
Wärme ausstrahlt, als dafs er im Focus zerstört wer
könnte.

85) Genau genommen leuchtet mir diese Erklärung ni
ein; denn der Spinnenfaden ist anfänglich kalt, die Wärm
strahlen der Sonne werden ihm erst zugeführt, ehe seine Te
peratur zunimmt, sie werden von der Oberfläche aufgenomm
und zwar dieser proportional; diese Aufnahme geht aber
Ausstrahlung nothwendig voraus, und wenn letztere stark se
soll, mufs auch erstere im gleichen Verhältnifs stark seyn, m
hin immer eine Zerstörung durch erhöhte Temperatur statt fi
den. KATER gestand die Gültigkeit dieser Argumentation s
wie nicht minder auch die Folgerung, dafs ein gleiches Ve
halten bei andern Wärmequellen gleichfalls statt finden müs

1 Découvertes sur le feu, l'électricité et la lumière. Sec. éd. P
1779 8.

2 Acta Erud. Lips. 1691. p. 517. 1697. p. 414.

Es läfst sich aber leicht zeigen, dafs ein Spinnenfaden in der erhitzten Luft über einer Weingeistlampe da zerstört wird, wo man ohne Nachtheil die auf die Hand wirkende Hitze ertragen kann. Zur nähern Prüfung des Thatsächlichen fafste ich eine Brennlinse von 7 Zoll Durchmesser und 27 Z. Brennweite in einen schmalen Reif und befestigte sie über einer auf einem Stativ beweglichen Regel, welche eine Drehung nach der Sonne gestattete; am andern Ende war eine Gabel von Draht aufgerichtet, zwischen welche, genau im Brennraume, die zu prüfende Substanz befestigt oder gehalten wurde. Zu den Versuchen wählte ich wolkenfreien Himmel um Mittag im Sommer 831, und erhielt folgende Resultate. Feinstes Blattgold gab een unerträglichen Glanz, blieb aber unversehrt oder schrumpfte sammen; Letzteres erfolgte bei Blattsilber sogleich. Ein schwars Pferdehaar verbrannte sofort, ein weifses schwieriger, mehe vereint augenblicklich. Menschenhaare verbrannten nur zuilen; ein Spinnengewebe blieb Stunden lang unversehrt, obich weifses Papier in 1,5 Zoll Entfernung vor oder hinter sselben augenblicklich verbrannte; englische Metallgaze von nem Eisendraht und noch feinerm Kupferdraht wurde heifs, molz aber nicht, obgleich weifses Papier bis 0,75 Z. hinter elben verbrannte; ein Quecksilberkügelchen auf Glas lied verdampfte, eine Uhrfeder wurde glühend, massiver wefel schmolz und tröpfelte herab, chemische Zündhölz- entzündeten sich augenblicklich; ein Strom Wasserstoffaus einem Röhrchen durch den Brennraum geblasen wurde t entzündet, jedoch erfolgte dieses sogleich, wenn er auf n Holzspahn geleitet wurde. Fäden aus Schellack, die mit Mikrometer eines Plöfsl'schen Mikroskops gemessen 0,0035 0,012 Lin. Durchmesser zeigten, wurden im Brennpuncte t einmal so erweicht, dafs sie sich durch ihr eigenes Get bogen, dieses geschah aber, wenn sie 0,017 Lin. dick n; bei 0,059 Lin. Dicke rollten sie zu kleinen Kügelchen und bei 0,3135 Lin. Dicke fingen diese Knöpfchen sogleich u rauchen. Der Durchmesser eines im Brennpuncte nicht örten Spinnenfadens, von einer grofsen Winkelspinne zum n ihres Netzes gesponnen, dessen Zusammensetzung aus 5 7 einzelnen Fädchen bei 255facher Vergröfserung sich ich erkennen liefs, betrug nur 0,0043 Lin., bei ei- Menschenhaare, welches zerstört wurde, 0,0215 Lin.

und bei einem Wollaston'schen versilberten Platindrahte 0,0195 Lin.

86) Gegen die aus diesen Versuchen entnommene Fol- rung, dafs die Lichtstrahlen weder in Wärme verwandelt w- den, noch eigene Wärmestrahlen mit sich führen, vielmehr Wärme in den Körpern blofs erregen, hat sich ein ebe- gelehrter als scharfsinniger Physiker, Prechtl[1], erklärt, dem er die ausbleibende Erhitzung solcher feiner Fädchen vi- mehr aus einer Abkühlung durch aufsteigende Luftström- ableitet. Um von bestimmten Gröfsen auszugehn, nimmt die Temperatur des Spinnenfadens zu 20° R. an, und derse- soll dann durch die Lichtstrahlen eine Wärme von 30° R. halten, die nicht höher steigt, weil die mit 12,5 Fufs G- schwindigkeit zuströmende Luft von 20° R. ihm nach d- Verhältnisse seiner Masse und Oberfläche stets so viele Wär- entzieht, dafs seine Temperatur nie über 30° R. hinausg- Inzwischen habe ich dieser, wenn gleich auf den Calcül g- gründeten, Erklärung nach meiner Ansicht unwiderlegliche A- gumente entgegengesetzt[2]. Zuerst streitet eine Luftström- von 12,5 Fufs Geschwindigkeit gegen alle Wahrscheinlichk- ist bei weitem gröfser als diejenige, womit der Rauch von Focus brennenden Körpern aufsteigt, und mufs in dem eng- Raume eines allseitig abgeschlossenen Refractors als ganz u- möglich erscheinen. Eine solche Geschwindigkeit kann a- zweitens gar nicht hervorgebracht werden. Es wird näml- angenommen, dafs ohne Ableitung der Wärme eine Hitze v- 600° R. = T entstehn würde, folglich um die Temperat- erhöhung innerhalb der Grenze von 10° = t zu erhalt-

$\frac{T}{t} = 60$ Luftwechsel in einer gegebenen Zeit erforderlich seye-

woraus dann folgt, dafs 12,5 Fufs Geschwindigkeit der L- diesen zur genügenden Abkühlung erforderlichen steten Wec- sel geben, wenn man die Zeitdauer, während welcher die L- mit dem Spinnenfaden in Berührung bleibt, auf 0,1 Sec. se- Es ergiebt sich nämlich die in dem genannten Zeitraume st- findende Höhe des Aufsteigens der Luft $= 2y\frac{T}{t}$, worin y d-

1 Baumgartner's Zeitschrift. Th. II. S. 154.
2 Ebendaselbst. Th. III. S. 49.

Halbmesser des Brennraumes = 0,125 Zoll bezeichnet, also für 0,1 Sec. = 0,25 × 60 Zoll und für 1 Sec. = 12,5 Fuſs. Allein diese Geschwindigkeit kann unmöglich eine Folge derjenigen Temperatur seyn, welche der Spinnenfaden ohne diesen Luftstrom erhalten würde, also der angenommenen 600°, denn wäre diese im Spinnenfaden oder der ihn umgebenden Luft im Brennraume wirklich vorhanden, so würde der Spinnenfaden augenblicklich ebenso zerstört werden, als in der weit minder heiſsen Luft über der Flamme einer Weingeistlampe. Die Geschwindigkeit der Luftströmung kann nur durch die wirkliche Temperaturerhöhung der Luft im Focus bedingt werden, und beträgt also $0,5 \times 0,00375\ (t - t')\ 2\sqrt{h}$ für Centesimalgrade[1], oder $0,01452375\ (t - t')\sqrt{h}$ nach der achtzigtheiligen Scale. Behalten wir die angenommenen Gröſsen bei, so ist in Centesimalgraden $t - t' = 12°,5$; $h = 2y = 0,25$ Zoll = 0,02083 Fuſs, und es beträgt daher die hierdurch erzeugte Geschwindigkeit nur 0,0262 Fuſs, eine verschwindende Gröſse, die jedoch im Innern eines Fernrohrs wohl kaum erreicht wird. Dieses Resultat stimmt drittens genau mit einer andern beachtenswerthen Thatsache überein. Erzeugt man nämlich mittelst einer gröſsern Brennlinse einen Focus in einem Zimmer, so bewegen sich in dem Lichtkegel die Sonnenstäubchen nach allen Seiten sowohl aufwärts als auch abwärts, je nachdem die zufällig vorhandene Luftströmung dieses bewirkt. Wenn aber die Lichtstrahlen die Luft und diese Sonnenstäubchen beträchtlich und bis zur Glühhitze erwärmten, so müſste man ein Aufsteigen der ersteren und ein Zerstörtwerden der letztern bemerken, was jedoch nicht im Mindesten wahrnehmbar ist. Noch aber giebt die Erfahrung einen directen Beweis gegen die Zulässigkeit der vorliegenden Erklärung, da die Erscheinung im luftverdünnten Raume auf gleiche Weise statt findet. Um dieses darzuthun, spannte ich durch Ankleben mit etwas Wachs zwei sich kreuzende Spinnenfäden im obern Theile einer kleinen Campane aus dünnem, sehr hellem Glase, von 3 Z. Höhe und 2 Z. unterm Durchmesser, aus, exantlirte die Campane bis zur 400fachen Verdünnung und brachte die Spinnenfäden in den Focus der genannten Linse, allein sie wurden nicht zerstört, obgleich ein Holzspahn, sowohl vor als auch

1 S. Art. *Heizung*, *Luftheizung*. Bd. V. S. 208.

hinter der Campane in den Lichtkegel gehalten, sich ent- dete. Hiernach findet also eine Abkühlung durch die nicht statt, und es kann im Focus der Sonnenstrahlen d nige Glühhitze nicht vorhanden seyn, wie in der he Luft über einer Weingeistlampe, oder wie sie in demje Körper vorhanden ist, welcher im Focus zum Glühen geb wird.

87) Melloni[1], dessen Urtheil wegen seiner bedeute Leistungen im Gebiete der Wärmelehre vorzügliche Beach verdient, verwirft gleichfalls die Erklärung, welche aus Dünne des Spinnenfadens hergenommen ist. Zuerst er er die Behauptung für falsch, dafs dünne Körper in den W mestrahlen weniger erhitzt werden, als dicke, da vielmehr seinen Versuchen die Erhitzung, wenn man sie nach der der hintern Fläche abgegebenen, nicht durchgestrahlten W mifst, bei dünnen Körpern stärker, als bei dickern ist. seiner Ansicht ist in Folge vieler Analogieen die Substanz Spinnenfäden sehr durchgänglich für die strahlende Wärme überdiefs geht im Allgemeinen die Sonnenwärme leichter, jede andere, durch diathermane Körper. Beide Ursachen sammen scheinen ihm hinreichend, um die Unverbrennlic der Spinnenfäden in den concentrirten Strahlen der Sonn erklären. Wir müssen hierbei den allgemeinen Satz der kern Erwärmung kleinerer Massen ganz aus dem Spiele la der sich nur auf dünne Platten bezieht, in denen sich Wärme weniger ausbreiten kann, als in dickern. Wollte diesen Satz als allgemein gültig betrachten, so würde er Thatsache selbst aufheben, die einmal constatirt ist. A hiervon abgesehn ist die Erklärung unzulänglich und Mel würde sie nicht aufgestellt haben, wenn er die Erscheinun Ganzen berücksichtigt hätte. Das Phänomen findet nicht bei Spinnenfäden, sondern auch bei feinen Fäden aus G milack und selbst bei sehr feinen Metalldrähten statt, d wir doch unmöglich insgesammt eine vorzügliche Diatherm beilegen können, da sie ohnehin bei dunkeln Fäden von Sc lack und schwarzen Haaren gering ist, bei Metalldrähten gänzlich wegfällt.

88) Zu dem bereits Erwähnten kann ich noch einen sp

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIII. 26.

angestellten interessanten Versuch hinzufügen. An einem hellen Wintertage, wo die erhitzende Kraft der Sonnenstrahlen übrigens stets schwächer von mir gefunden wurde, als im Sommer, erzeugte ich in einem Ringe aus Messingdraht von etwa 1,5 Z. Durchmesser eine sehr dünne und klare Eisscheibe, und hielt diese in etwa 0,75 Z. Abstand vor einen im Focus der genannten Linse befindlichen Holzspahn, so dafs der Lichtkegel vorher durch das Eisblättchen dringen mufste, ehe er den Spahn erreichte. Hierbei glückte es mir einigemal bei einer äufsern Temperatur von nicht mehr als — 3° C., dafs sich der Spahn früher entzündete, als das Eisscheibchen geschmolzen war. Dieses und andere ähnliche Phänomene erklären sich übrigens leicht aus der grofsen *Diathermanie* des Eises, welches die Wärmestrahlen, hauptsächlich die sogenannten leuchtenden, zu sehr durchläfst, als dafs es dadurch erhitzt werden konnte.

89) Da es sich hier vorzugsweise um die Erzeugung der Wärme auf unserer Erde durch die Sonnenstrahlen handelt, so dürfen die interessanten Versuche von Marcet über das Verhältnifs des täglichen Wechsels der Temperatur in einiger Entfernung und nahe über der Erdoberfläche nicht übergangen werden, die eine Ergänzung zu demjenigen liefern, was in dieser Beziehung früher durch Pictet und Six geschehn und bereits an einem andern Orte [1] erwähnt worden ist. Marcet[2] bediente sich zur Erforschung dieses täglichen Wechsels eines Mastbaumes von 114 Fufs Höhe, welcher auf einer grofsen Wiese, fern von Gebäuden, aufgepflanzt war. An diesem befanden sich in Abständen von 10 zu 10 Fufs horizontale Latten, jede mit einer Rolle an ihrem Ende, die zum Hinaufziehn und Herablassen der Thermometer dienten, deren Kugeln mit schlecht leitenden Substanzen umgeben waren, um eine Ableitung ihrer Wärme während des Herablassens zu verhüten. Bei jeder Beobachtung wurden zugleich der Zustand des Himmels und vorzüglich die Angaben des Aethrioskops und des Hygrometers aufgezeichnet. Die Beobachtungen fallen in das Jahr 1837 und in die ersten Mo-

1 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 345.

2 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Génève. T. VIII. Auszuge in Bibl. univ. Nouv. Sér. T. XV. p. 398. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 353.

des Thermometers auf; in der 5ten Minute stellt man das strument hinter einen Schirm so, dafs man am Ende d Minute den Schirm wegnehmen kann, damit die Son strahlen direct auf die geschwärzte Scheibe fallen. In durch stetes Umdrehen der Röhre das Wasser in steter wegung gehalten wird, zeichnet man während 5 Minuten Minute zu Minute den Stand des Thermometers auf, br dann den Apparat wieder in seine frühere Stellung und obachtet auf gleiche Weise in den nächsten 5 Minuten s Erkaltung. Heifst dann R die Erwärmung, welche das strument während der 5 Minuten in den Sonnenstrahlen genommen hat, r und r′ die Erkaltungen vorher und n her, so ist die durch die Sonnenstrahlen erhaltene Temp turerhöhung t

$$t = R + \frac{r + r'}{2}.$$

Heifst ferner d der Durchmesser des Cylinders *vv* in Ce metern, p das Gewicht des Wassers in Grammen, p′ das wicht des Gefäfses und des in ihm befindlichen Theiles des T mometers, nach seiner specifischen Wärmecapacität auf W reducirt, so entspricht die beobachtete Temperaturerhöhu einer Wärmemenge $= t(p + p')$, und da diese währen Minuten auf eine Fläche $= \frac{1}{4}\pi d^2$ fiel, so wurde in di Zeit für jede Flächeneinheit

$$\frac{4(p+p')}{\pi d^2} t, \text{ also in 1 Minute } \frac{4(p+p')}{5\pi d^2} t$$

erzeugt. Für das gebrauchte Instrument betrug die in 1 auf einem Quadratcentimeter erhaltene Wärmemenge 0,2624

Das *Linsen-Pyrheliometer* hatte bei ähnlicher Einri tung eine Linse von 24 bis 25 Centim. Durchmesser und bis 70 Centim. Brennweite; ihr Brennpunct fiel auf einen linder mit ungefähr 600 Gramm Wasser. Die dadurch er tene Wärme wird durch eine ähnliche Formel berechnet, doch kommt eine Correction für die Verschluckung durch Glas hinzu, die durch Vergleichung mit dem gewöhnlic Pyrheliometer erhalten wird. Man mufs den letztern App bei stärkerem Winde anwenden, geringe Luftbewegungen ben auf die nur etwa 4 bis 5 Grad über die Umgebung wärmte Wassermasse keinen Einflufs.

einigen auf einander folgenden
gen erhaltenen Resultate wurden
:meinschaftliche Gröfse gebracht.
die Dicke der Atmosphäre = ε
nde Formel gefunden wird:

$$\ldots + r^2 \text{Cos. } z - r \text{ Cos. } z,$$

messer = 80, h die Höhe der
:nithdistanz der Sonne bezeich-
er Messung sich leichter aus der
:s Versuchs fällt, berechnen läfst,

$$+ \text{Cos. } \nu \text{ Cos. d Cos. H}$$

Beobachtungsortes, d die Decli-
und H den Stundenwinkel zur
Eine Vergleichung der Tem-
ken der Atmosphäre ergab, dafs
ı die Formel

$$A p^{\varepsilon}$$

p zwei Constanten sind. Wur-
ungen aus jeder Reihe bestimmt,
hr nahe wieder denselben Werth
:he von p, wonach also A eine
Atmosphäre unabhängige, p aber
:rkeit verschiedene Constante ist.
= 6°,72, p aber variirt zwischen
im Wintersolstitium. Die hier-
nten mit den beobachteten genau
Mai die durchlaufene Dicke der
:nes und Abends um 6 Uhr 86
on selbst versteht, dafs nur bei
it des Himmels für einen ganzen
p in Anwendung kommen kann.
ıel p = 1 und ε = 0, so erhält
Wärme, welche erhalten würde,
ammte Wärmemenge durchliefse
an der Grenze der Atmosphäre
er oben gefundenen Zahl 0,2624
als diejenige Wärmemenge, wel-
uf eine Fläche von 1 Quadrat-

centimeter an der Grenze der Atmosphäre, oder wenn ke Wärme durch die Luft verschluckt wird, absetzen müſ Aus den Beobachtungen folgt, daſs die Atmosphäre, auch senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen, mindestens 0,21 höchstens 0,27 der auffallenden Wärme verschluckt, doch bei der letzteren Gröſse eine sehr leichte Trübung bemerk und einmal bei ausgezeichneter Heiterkeit wurde nur 0,18 Minimum gefunden. Wendet man dieses auf die ganze leuchtete Erdoberfläche an, so gelangt man zu dem Result daſs der die Erde erreichende Antheil zwischen 0,5 und der absorbirte aber zwischen 0,5 und 0,4 liegt, aber sehr n an 0,4 grenzt. Berechnet man hiernach die Gesammtme der Wärme, welche überhaupt auf die Erde fällt und th von der Atmosphäre, theils von der Erde aufgenommen w so ist für den Halbmesser R der Erde der Beleuchtungsk $= \pi R^2$, mithin die erhaltene Wärmemenge

$$1^{\circ},7633\ \pi R^2.$$

Würde diese Wärmemenge auf alle Puncte der Erde glei mäſsig vertheilt, so empfinge jedes Quadratcentimeter

$$\frac{1^{\circ},7633\ \pi R^2}{4\,\pi R^2} = 0^{\circ},4408$$

in jeder Minute, also im ganzen Jahre 231675 Einheiten, u diese Wärme wäre im Stande, eine Eisschicht von 30,89 M ter zu schmelzen.

92) Es scheint mir überflüssig, die Betrachtungen mit theilen, welche Pouillet für den Fall anstellt, wenn die So als glühender Körper diese Wärme aus sich ausstrahlte, eine solche Ausstrahlung, als wirkliche Abgabe der Wärme, angegebenen Gründen nicht wohl vorstellbar ist, auch geht Nichtigkeit aus den gefundenen Resultaten von selbst herv Wird nämlich die specifische Wärmecapacität der Sonne das 133fache des Wassers gesetzt, eine an sich nach uns Kenntniſs irdischer Körper übermäſsige Gröſse, so würde Sonne in 10000 Jahren um 100° C. erkalten, also in 5000 Ja ren um 50°, und da die obige Annahme mindestens um Hundertfache zu groſs ist, so müſste die Sonne während die geschichtlichen Periode um 5000° erkaltet seyn, so daſs ihre ursprüngliche Temperatur, die Pouillet auf 1461° 1761° berechnet[1], nicht bloſs verloren haben, sondern sch

1 Vergl. Edinburgh Phil. Journ. N. XXIV. p. 405.

en Nullpunct herabgesunken seyn
h die Betrachtungen, welche POUIL-
mit diathermanen Hüllen umgebe-
er inzwischen den Satz ausspricht,
ı einen Lichtstrahl oder ein eigent-
Wärmestrahl verwandelt sey, wes-
nach beide als verschieden, aber
Sonne ausgesandt werden, eine mit
Lichte doch wohl ohne Widerrede
Diese Untersuchungen hängen aber
uesten Zeiten viel ventilirten, Frage
melsraumes zusammen. FOURIER
n gelehrten Calcül zu dem Resul-
peratur des Weltraumes sehr wenig
·dpole liege und etwa — 50 bis —
e gesammte Wärme, welche von
rn, mit Ausnahme der Sonne, zur
erjenigen gleich seyn soll, welche
des Emissionsvermögens und von
ıen, Temperatur auf die Erde sen-
Satz aufgestellt war, fand SWAN-
ıung, daſs die Wärme des Planeten-
rage. Auch POISSON nimmt die
s zu etwa — 52° C. an, und als
ungen des Capitain BACK, welcher
ı's wohl nicht die gröſstmögliche
ıbliche von — 56°,7 C. maſs, fol-
des Himmelsraumes nothwendig nie-
sse, weil nach allen Beobachtungen
ng über die Meeresfläche zunimmt,
erung nicht zugestehen, sondern be-
es Himmelsraumes müsse nothwen-
der oberen Atmosphäre, die sonach
gröſsere Wärme, als die untere ge-
T leitet er dieses Resultat theils aus
estimmung der Wärme des Planeten-

: 1830. S. 54.
24. p. 575. Poggendorff's Ann. XXXVIII.
IX. S. 491.

raumes her, theils aus den mechanischen Bedingungen de Gleichgewichts, nach denen die Luft an ihrer Grenze eine solchen Kältegrad besitzen muſs, daſs sie ihre Elasticität gänzlich verliert[1]. Auch POUILLET unterwirft die Gleichgewichtsbedingungen diathermaner Hüllen einer näheren Untersuchung die er dann auf die Wärmeabsorption der Luft und die Temperatur des Weltraumes anwendet. Nach ihm sind die Absorptionskräfte einer gegebenen elastischen Flüssigkeit, als diathermane Substanzen betrachtet, ihrer Masse und Wärmecapacität proportional. Nach diesem nämlichen Princip läſst sic die gesammte Menge der strahlenden Wärme auffinden, welch in einer gegebenen Zeit von der Flächeneinheit irgend eine atmosphärischen Schicht ausgesandt wird; sie hängt ab vo der eigenen Temperatur t dieser Schicht, von der Wärmecapacität c, der Masse m derselben und von der Constante[2] B =

1 Nach einer einfachen Theorie folgt naturgemäſs, daſs di Grenze der Atmosphäre mit dem absoluten Nullpuncte zusammenfallen muſs; denn so lange noch Wärme vorhanden ist, wird diese au die Molecüle der Luft abstoſsend wirken, und dieses ist auch eigentlich POISSON's Ansicht. An der Grenze der Atmosphäre muſs also de absolute Nullpunct der Wärme statt finden, weil die Wärme durc Anziehung der Erde festgehalten wird, in Gemäſsheit ihrer Repulsivkraft mit der Entfernung vom Erdkerne, wo sie ihr Maximum habe würde, abnimmt, und endlich da ihre Grenze erreicht, wo die Materie, die sie festzuhalten vermöchte, aufhört vorhanden zu seyn. Wär uns also der absolute Nullpunct der Wärme und das Gesetz der Wärmeabnahme bei zunehmender Höhe bekannt, so könnten wir die Höh der Atmosphäre genau bestimmen. Dem bekannten Verhalten de Wärme zuwider scheint mir aber die Hypothese zu seyn, wonach be der groſsen Repulsivkraft, dem Strahlungsvermögen, der Wärme, un ungeachtet sie stets von der Sonne und den Himmelskörpern zur Erd gelangen soll, dennoch zwischen den etwas erwärmten Planetenraum und die weit wärmere Atmosphäre ein absolut kalter Kugelkreis gesetz wird, der die Grenze der Atmosphäre bildet.

2 Diese Constante ist aus den Versuchen von DULONG und PETI über das Erkalten der Körper im leeren Raume entnommen. Danac ist die absolute Wärmemenge e, welche in einer gegebenen Zeit au einer gegebenen Fläche eines Körpers strahlt, dessen Temperatur durc $t + \Theta$ und Strahlungsvermögen durch f bezeichnet wird, $e = B \, . \, f \, . \, a^{t + \Theta}$ Nimmt man die Zeit = 1 Min. und die Fläche = 1 Quadratcentimeter, so ist B = 1,146. Vergl. §. 244, wo diese Gröſse jedoch = 1,16 angegeben wird. POUILLET findet diese Gröſse aus der a. a. O. angegebenen Formel, wonach $m \, . \, a^{\Theta} = 2{,}037$ ist. Letzterer Werth, i seinen Formeln substituirt, giebt B = 1,146, wenig abweichend von 1,16

ɪekannte Gröſse k kommt, welche
:n Flüssigkeit abhängt. Die Wär-
egebenen Gröſsen

$k m c a^t$

it $= c'$ und eine Temperatur $= t'$

$k m c' a^{t'}$.

inen Ort unter dem Aequator, wo
Heiterkeit geherrscht hat, so muſs
ıtur des Bodens, als auch die einer
ngleich hohen Luftschicht constant
Värme stets wieder abgegeben wird.
cht erhaltene Temperatur hängt ab
Absorptionsvermögen und von der
ı der Erde, als auch von der Sonne
zuströmt. Eben dieses ist der Fall
jedoch wird erstere mehr Wärme
r von der Sonne und dem Welt-
Durchdringen der Luft allezeit eine
.t. Es läſst sich daher die Menge
oder tiefer liegenden Luftschichten
ıähernd berechnen, und man kann
:h setzen, wenn man nicht solche
Grenze der Atmosphäre sehr nahe
hten, eine sehr nahe und eine sehr
iche sich befindend, absorbiren an
enge Wärme, aber da sie beide Al-
ıen, wieder verlieren, so ist klar,
eit gleiche Wärmemengen verlieren.

$t = B k m c' a^{t'}$,

$: \frac{1}{\text{Log. } a} . \text{Log. } \frac{c'}{c}$.

ach das Gesetz der Wärmeabnahme
ɔen ausdrückt und bis zur Grenze
eyn scheint, muſs durch das Expe-

den Untersuchungen von LAPLACE
Värmecapacitäten elastischer Flüssig-

keiten in einem gewissen Verhältnifs stehen, welches durch die Formel

$$\frac{c'}{c} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{1 - \frac{1}{k}}$$

ausgedrückt wird, die für trockne Luft

$$\frac{c'}{c} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{8}{11}}$$

giebt, wie die genauen Versuche von GAY-LUSSAC und WELTER beweisen, die sich auf Drucke von 144 Millim. bis 1460 Millim. und auf Temperaturen von 40° bis — 20° C. erstrecken, so dafs hiermit schon die Wärmecapacitäten bis zu $\frac{1}{5}$ der gesammten Luftschichten sich berechnen lassen, obgleich es wünschenswerth wäre, jene Versuche noch bis auf Temperaturen von — 60° oder — 80° C. auszudehnen. Nimmt man aber vorläufig an, dafs diese Formel von POISSON bis zu 0,01 des atmosphärischen Druckes gültig sey, so ergiebt sich, dafs die Temperatur einer Luftschicht von diesem Drucke 163° C. unter der mittleren Temperatur der die Erde berührenden Schicht liege, und da letztere 27° C. beträgt, so mufs jene = — 136° C. seyn. Berechnet man die Temperaturen von 100 Schichten, deren jede um 0,01 des atmosphärischen Druckes weniger zusammengedrückt ist, so erhält man annähernd die mittlere Temperatur der Luftsäule = — 8° C., welche diejenige ist, vermöge welcher die ganze Luftsäule strahlende Wärme aussendet. Nach dieser Formel würde die Abnahme der Wärme 1° C. für eine Erhebung von 225 Meter betragen, statt dafs v. HUMBOLDT 200 Meter fand, was nicht sehr von einander abweicht[1].

94) Ein am Erdboden der nächtlichen Strahlung ausgesetztes Thermometer empfängt Wärme aus dem Weltraume und aus der Atmosphäre; von der ersteren gelangen jedoch nur 0,3 bis 0,4 zum Thermometer, wenn sich dieses nicht auf sehr hohen Bergen befindet; die letztere ist das Ergebnifs der Strahlung der einzelnen concentrischen Schichten vom Meeresspiegel bis zur Grenze der Atmosphäre und demnach abhängig von der Wärmevertheilung in der ganzen Höhe der atmosphä-

1 Ueber diese stets sehr unsichere Bestimmung vergl. *Erde.* Bd. III. S. 1008. *Höhenmessung.* Bd. V. S. 311. *Temperatur.* Bd. IX. S. 349.

das Verhältniſs der Intensität die-
;, so kann man sich beide in einer
ıit einem Maximum des Emissions-
;o viele Wärme dem Thermometer
genannte Quellen, der Weltraum
olche imaginäre Hülle nennt Pouil-
e Temperatur *Zenithaltemperatur;*
Ort und für jede Zeit veränderlich,
ichmäſsig wirkenden Ursache, der
s, und einer veränderlichen, der
en, abhängt. Dieses vorausgesetzt
r und wie oben t' die Temperatur
ere der atmosphärischen Säule, b und
auf die Wärme der Erde und die
es ausgeübte Absorptionsvermögen;

le in der Zeiteinheit von der Flä-
ıge $= B a^z$ aussendet, worin B die
} bezeichnet, das Strahlungsvermö-
ı wird,

e eine Wärmemenge $= B b a^{t''}$ aus-
ermögen ihrem durch b bezeichneten
ist,

ı eine Wärmemenge $= B a^{t'}$ aus-
ler Antheil $(1 - b')$ die Atmosphäre
rmometer gelangt, wonach also das
eltraums in Beziehung auf das Ther-
zt und die vom Weltraume ausge-
$- b') B a^{t'}$ ausgedrückt werden kann.

$$a^{t''} + (1 - b') B a^{t'}$$

$$^{t''} + (1 - b') a^{t'},$$

elation gegeben wird, welche die Ze-
nüpft mit der Temperatur des Welt-
n veränderlichen der Luftsäule und
sorptionskräften der Atmosphäre.
temperatur in jedem Augenblicke der
ufttemperatur zu beobachten, wendet

Pouillet theils Spiegel, theils ein von ihm erfundenes *Aktinometer* an, welches von dem durch Herschel angegeben wesentlich abweicht und eigentlich *Aethrioskop* genannt werden müſste, sofern seine Bestimmung ist, die nächtliche Strahlung zu messen, aber auch den ihm gegebenen Namen insofern verdient, als man die Strahlung des Planetenraumes, so wie die der Sonne, damit messen kann. Die Spiegel vereinigen nach seinen Erfahrungen die Strahlen nicht im Brennpuncte, können daher durch hohle Kegel oder bloſse Reflectoren ersetzt werden, die weit bequemer sind; inzwischen hält Pouillet diese Versuche überhaupt für delicat und die Formeln für verwickelt, weil sie die wirkliche Temperatur der Luft und das Verhältniss der Erkaltung, die aus ihrem Contacte entspringt, zu dem, welches aus der Strahlung hervorgeht, enthalten, wobei sie einige Ungewiſsheit unmöglich vermeiden läſst. Das *Aktinometer* besteht aus 4 Ringen von 2 Decimeter im Durchmesser, Fig. 41. mit Schwanenflaum so ausgefüllt, daſs sie nicht zusammengedrückt werden, indem die Haut des Schwans den Boden bildet. Dieses System steht in einem ersten Cylinder c von Silberblech, welcher gleichfalls mit Schwanenhaut umhüllt und von einem zweiten weiteren Cylinder c' eingeschlossen ist. Auf der Mitte der oberen Flaumen ruhet die Kugel eines empfindlichen Thermometers, der Rand aber steht so weit über, daſs nur zwei Drittheile der hohlen Himmelshalbkugel übersehn werden, und ist in der Ebene der Flaumen mit Löchern versehn, damit die kalte Luft abflieſse. Richtet man diesen Apparat, dessen weitere Construction aus der Figur ersichtlich ist, während der Nacht gegen den heiteren Himmel, und beobachtet man von Stunde zu Stunde sein Thermometer und ein anderes, 4 Fuſs über dem Boden frei in der Luft hängendes, so giebt der Unterschied beider ein Mittel, die Zenithaltemperatur zu finden, wozu aber eine eigene Graduirung gehört. Hätte nämlich das Aktinometer eine unbegrenzte Oberfläche und befände es sich im Vacuum unter einer hemisphärischen Hülle von constanter Temperatur, so würde es die Temperatur derselben annehmen; da es aber nur zwei Drittheile der Himmelshemisphäre übersieht, und sich in einer Luftumgebung befindet, die es erwärmt, so wird seine Temperatur stets die der Hülle übertreffen. Die Graduation bezweckt daher, aus seiner Temperatur und der der umgebenden Luft die der Hülle zu entnehmen, mit welcher es

ht. Um das einfache Verhältnifs verfertigte POUILLET einen künstli- fäfse von 1 Met. Durchmesser, wel- ı drei dünnen Stäbchen gehalten n Boden geschwärzt und mit einer :hung gefüllt; das Aktinometer stand ıden darunter, dafs das Thermometer ein Drittel und zwei Drittel der :r Lage wurde das Temperaturgleich- r Stand beider Thermometer aufge- ise wurde bei einer Erkaltung des vischenliegenden Temperaturen ver- u folgendem Resultate: *Wenn man 'mgebung ⅔ des Sinkens des Akti- man die Temperatur des künst-* ;esetz auf die Wärme des Himmels

$$= t - \frac{2}{3} d,$$

fttemperatur und d das Sinken des s die erforderliche Graduation.

windstillen Nächten angestellte Ver- ; die Zenithaltemperatur fast wie die ı Luft sinkt, welches vom Unter- r Sonne statt findend zu einer wich- ist nämlich gezeigt worden, dafs die i Bedingungen abhängt, der constanten ımes und der veränderlichen mittle- h nun die Zenithaltemperatur in ei- rt, so folgt hieraus, dafs ihre con- hr kleinen Werth hat in Bezug auf daher die Wärme des Weltraumes :en mit der von der Strahlung der

des Himmelsraumes zu finden, geht :n Grundlage aus. Unter der äqua- ›erfläche der Erde, die sie bedeckende n Cylinder betrachtet werden, dessen 'endekreise bilden und dessen Hälfte :hienen wird. Dieser Cylinder em- ke alle die Wärme, welche auf das

Rectangel seiner Projection fällt, dessen Oberfläche $= 2rh$ i und er erhält daher in jeder Minute eine Wärmemenge $= 1,76$ $\times 2rh$. Da aber diese Wärme auf die ganze Seitenfläc oder auf $2\pi rh$ vertheilt ist, so empfängt jede Einheit nur

$$\frac{1,7633}{\pi} = 0,56$$

als die Menge der Sonnenwärme, die in jeder Minute tägli auf jedes Quadratcentimeter der Aequatorialzone fällt. Gleicl zeitig ist auch die Himmelswärme thätig, und wenn die unb kannte Temperatur des Himmelsraumes durch t' bezeichn wird, so folgt, dafs die von einem Quadratcentimeter in 1 M nute aufgenommene Wärmemenge $= Ba^{t'}$ ist. Diesemna beträgt die Menge der aufgenommenen Wärme

$$Ba^{t'} + 0,56.$$

Es können aber die vereinten Wirkungen des Himmelraum und der Sonne durch eine einzige Hülle mit Maximum-Emi sionsvermögen ersetzt werden, und wenn die unbekannte Ten peratur dieser Hülle v heifst, so erhält man

$$Ba^{v} = Ba^{t'} + 0,56.$$

Diese Temperatur v mufs eine solche seyn, dafs sie an d Oberfläche der Erde in der tropischen Zone die mittlere Ten peratur von 27°,5 erzeugt. Der Ueberschufs der Temperat einer Kugel über die einer ihn einschliefsenden Hülle läfst si aus der Formel[1]

$$a^{t-t'} = \frac{2-b'}{2-b}$$

ableiten, worin t die Temperatur der Kugel und t' die d Hülle bezeichnet. Da aber hier der Werth von t gegeben is so hat man

$$a^{27,5-v} = \frac{2-b'}{2-b}.$$

Nimmt man den hieraus hervorgehenden Werth von v un setzt man für B seinen Werth $= 1,146$, so erhält man

1 Der Kürze halber habe ich übergangen mitzutheilen, wie Pouille zu dieser Gleichung gelangt, indem er sich eine Kugel von einer diathe manen Hülle, und diese wieder durch eine Sphäre umgeben denkt es wird aber hier genügen zu bemerken, dafs b das Absorptionsver mögen bezeichnet, welches die diathermane Hülle gegen die von de Kugel ausströmende Wärme, und b dasjenige, welches dieselbe gege die von der einschliefsenden Sphäre ausströmende Wärme ausübt.

$,235 \frac{2-b}{2-b'}$,

Sonnenstrahlen im Mittel b' = 0,35
ıdgleichung

008 — 0,748 b,

: Gröſsen sind, t' die Temperatur
Absorptionsvermögen, welches die
Wärme ausübt. Der gröſste Werth
Wärme des Weltraumes, und da b
m, so kann auch die Temperatur
ſser als — 175° C. seyn. Für
ı — 187° und für b' = 0,4 bloſs
te Werth von t' einmal gefunden,
h den gröſsten zu finden, welcher
he von b entspricht, und da dieser
ann, so ist die Wärme des Raumes
genaueren Bestimmung des zwi-
liegenden mehr genäherten Wer-
unter den verschiedensten Breiten
rforderlich seyn; inzwischen geben
en schon eine sehr wahrscheinliche
2° C., welche einem Werthe von

lieser Untersuchungen ergiebt sich
le eine Temperatur = 1°,7633 für
ratcentimeter Fläche mittheilt, daſs
die Atmosphäre hiervon 0,4 dieser
s Raumes entzieht, von der durch
,9, und daſs die Temperatur des
142° C. beträgt. Pouillet glaubt,
er Apparate und durch anhaltende
r angegebenen Gröſsen richtiger be-
cheint es gleich, als ob die ver-
Himmels, die nach einander durch
Wärmemengen ausstrahlen, so ist doch
nur aus der Unvollkommenheit un-
ı die Gruppirung der Sterne ist so
die verschiedenen Hemisphären der
h ungleiche Wärmemengen geben

müssen. Zu Untersuchungen dieses Problems würde sich d[ie] äquatorische Zone am besten eignen.

98) Weitere Folgerungen, welche aus diesen Untersuchun[gen] hervorgehn, sind, dafs die Menge der Wärme, wel[che] der Himmelsraum der Erde und der Atmosphäre zusendet, [fä]hig seyn würde, während eines Jahres eine Eisdecke von [26] Meter Dicke zu schmelzen, die von der Sonne herkommen[de] vermag aber eine solche von 31 Meter Dicke zu schmelz[en] und die Summe beider giebt also die Schmelzung einer Ei[s]decke von 57 Meter Dicke. Die Wärme, welche vom Wel[t]raume kommt, beträgt also $\frac{5}{6}$ der von der Sonne kom[men]den. Unter den Tropen beträgt die Wärme des Him[mel]sraumes nur $\frac{2}{3}$ soviel als die der Sonne, denn daselbst wi[rd] die letztere durch eine schmelzende Eisschicht von 39 Me[ter] Dicke dargestellt. Pouillet meint, es müsse auffallen, da[fs] der Himmelsraum bei einer Temperatur von — 142° der Er[de] beinahe ebenso viel Wärme zusende, als die Sonne; all[ein] man müsse bedenken, dafs in Beziehung auf die Erde die Son[ne] nur den 5millionsten Theil des Himmelsgewölbes einneh[me] und daher 200000mal mehr Wärme hergeben müsse, um ein[en] gleichen Effect hervorzubringen. Von einer andern Seite b[e]trachtet scheint vielmehr der Einflufs der Sonne noch zu ho[ch] angegeben; denn ohne diesen würde die überall gleichmäfsi[ge] Temperatur des Bodens — 89° seyn, und da die mittlere Tempera[tur] unter dem Aequator 27°,5 beträgt, so wird diese durch d[ie] Sonne um 116°,5 erhöhet. Auf gleiche Weise würde oh[ne] den Einflufs der Sonne die mittlere Temperatur der Luftsä[ule] unter dem Aequator — 149° seyn, und da sie nach den Forme[ln] — 10° gefunden worden ist, so wird sie durch die Sonne um 13[9°] erhöht. Pouillet bemerkt ferner, dafs diese Resultate bedeu[]tend von denen abweichen, die Poisson gefunden hat, inde[m] er die mit der Tiefe zunehmende Bodentemperatur mit in Rech[]nung brachte, glaubt aber, dafs beide Methoden mehr überein[]stimmende Resultate geben würden, wenn man den bedeutende[n] Einflufs der Atmosphäre auf eine mehr directe Weise mit i[n] die Formeln aufnehmen könnte. Wollte man endlich den Cal[]cül auf Gegenden unter höheren Breiten anwenden, so müfst[e] man zugleich die mit der Breite abnehmende Bodentemperatu[r] mit berücksichtigen; es sey aber leicht zu übersehen, dafs di[e] Winde die Temperatur der Polarzonen merklich erhöhen, in[]

ı Zonen nicht wenig vermindern; heinen sie dagegen keinen bedeu-

lt bei seinen Untersuchungen so he sind mit so zweckmäſsigen Ap- ıt angestellt, daſs seine Abhandlung er wörtlichen, Auszug verdiente; daſs seine Theorie viele Anhänger s die Grundlagen derselben in der OURIER und POISSON aufgestellten rerkennbar stehen ihr aber gewich- en einige wir hier beibringen wol- der Voraussetzung ausgehen, daſs nission, einen Ausfluſs der Wärme melskörpern annimmt, wie aller- hervorzugehen scheint. Ist dieses hiermit ebenso gehn, als mit der ıte, die man allseitig abgerundet gantesten Calcül scheinbar begrün- einfacher Ansicht der Sache ent- solches stetes Ausströmen eines as naturwidrig sey, obsiegte und orzug verschaffte. Warum wurde Lichts nicht gleichzeitig die der Argument wird bedeutend gewich- igt, daſs die Emissionshypothese egreiflichen oder vielmehr natur- ständigen vor- und rückwärtsge- vieder hergestellten Bewegung be- rme soll ohne Unterlaſs von der ume zur Erde und wieder rück- irgendwo die Ursache dieser Be- Die Elektricität kommt zum er ruht, bis er durch die Hitze h sonstige Ursachen in Schwin- Värme aber soll in steter Bewe- seltsamerweise mit gleicher Ge- ie Lichtwellen fortschreiten, zur h gleich bleiben und ohne Licht ımelsraume strömen, während sie

von diesem gleichzeitig wieder zur Erde strömt. Ist sch diese Voraussetzung an sich ganz unbegründet, so wird noch obendrein ganz naturwidrig, wenn zugleich die Grenz unserer Atmosphäre bis zum absoluten Nullpuncte kalt se soll, obgleich nicht bloſs die Wärme der Sonne und des Wel raumes, sondern auch die von der Erde strahlende unaufhörli durch sie strömt; denn genau genommen heiſst dieses nichts an deres, als: in der unsere Atmosphäre begrenzenden Sphäre ist ste Wärme vorhanden, aber es ist auch keine vorhanden; vorhan den muſs sie seyn, weil sie hindurchströmt, sie ist aber nic vorhanden, weil sie sonst den Lufttheilchen Expansion geben, un damit die Grenze der Atmosphäre weiter rücken würde. D Schwäche dieser Hypothese stellt sich immer mehr herau wenn man sie von verschiedenen Seiten beleuchtet. Dasjeni Theilchen des Lichtäthers, welches in einem gegebenen M mente den Sehnerv unseres Auges afficirt, war nicht vor ung fähr 8,5 Minuten noch bei der Sonne, sondern so wie das n dem Schenkel einer tönenden Stimmgabel in Berührung befin liche Lufttheilchen seinen Ort nicht verläſst, und dennoch da jenige, welches unser Gehörorgan berührt, gegen letzteres v brirt, ebenso verläſst auch das bei dem leuchtenden Körp namentlich der Sonne, befindliche Molecül des Lichtäth seine Stelle nicht, wohl aber gelangt die durch den Lichtät fortgehende Undulation zum Nerv des Auges. Nehmen w eine Emission als Grund der Wärmestrahlung an, so müſste d von der Sonne ausströmende Wärmemolecül muthmaſslich m gleicher Geschwindigkeit, als womit die Lichtundulation fortschreiten, die ungeheuren Himmelsräume durchströmen. S lange hierbei das Licht als Vehikel dient, könnte man si leichter, wiewohl auf keine Weise deutlich, hierin die wi kende Ursache einer solchen Bewegung gegeben denken, allei bei der nächtlichen Strahlung fällt dieses Hülfsmittel we Wir dürfen aber bei dieser letzteren, sofern die Wärme vo unserer Erde sich erhebt, einen Umstand nicht übersehen, wel cher auf keinen Fall gänzlich unberücksichtigt bleiben dar nämlich die gemeine Fortpflanzung durch Leitung oder secun däre Strahlung und durch Luftbewegung. Man betrachtet de gesammten Wärmeverlust bloſs als Wirkung der Strahlung, al lein die später zu erwähnenden Versuche von Dulong und Petit über Wärmestrahlung zeigen evident, daſs bei der An-

:itung durch diese an sich und
eilchen gleichzeitig statt findet.
leich auch gegen die Resultate
ET vermittelst seines künstlichen
nicht als absolut genau gelten
s, welche diesen störenden Ein-
ngten eben dadurch zu so ge-
)ffenbar wirkte bei dem künst-
Strahlung auf das Thermometer,
Himmelssphäre als allein wirk-
ie sich bewegende und die auf-
ihrende Luft.
nzwischen zunächst nur gegen
ler Wärme von der Sonne und
:rde und von dieser wieder ge-
iernach nicht wohl statt finden
angt aber unverkennbar Wärme
Körpern an und wird von die-
uch bleibend festgehalten. Die-
dem der Lichtwellen und der
Annahme bloſser Undulationen,
änomene so fruchtbar war, genügt
lehre nicht, und wir müssen es
riedigende Theorie hierfür aufzu-
p aufsuchen, um alle Wärme-
vereinigen; ein Versuch hierzu
verden, wenn wir die gesammten
en gelernt haben (§. 363).
noch die Frage erörtert werden,
nde reflectirten Lichtes Wärme
so oft bejahet, als verneint hat.
:hmen, daſs die erzeugte Wärme
ortional sey, und da nach Bou-
300000 mal schwächer, als das
läſst sich nicht wohl eine Con-
lligen, die ein Steigen des ge-
verursachen vermöchte. Dieses
ache des DE LA HIRE[1], welcher

306.

fand, dafs die mittelst eines Spiegels 360 mal concentrii Mondstrahlen keine Wärme verursachten. Im Widerspr hiermit will Howard[1] gefunden haben, dafs die mit eir 13zolligen Hohlspiegel aufgefangenen und concentrirten Moı strahlen das Differentialthermometer allerdings afficiren, ebe will auch Watt[2] einen erwärmenden Einflufs der Strahl nicht sowohl des Vollmonds, als noch mehr der Phasen d selben, auf seinen Apparat wahrgenommen haben. Im Wid spruche hiermit beobachteten Pictet und Prevost[3] vielm eine Erkaltung und leiteten diese Ersterer von den höhe kälteren Luftschichten, Letzterer von der Wärmestrahlung Auf jeden Fall ist die erwärmende Kraft des Mondes so ring, dafs man dieselbe wohl nie durch Versuche, die du anderweitige unvermeidliche Einflüsse bedingt sind, mit Sich heit auszumitteln im Stande seyn wird; denn wenn di möglich wäre, so würden sicher Nobili und Melloni[4] ihren feinen Instrumenten ein anderes, als ein negatives Resultat halten haben. Mit gröfster Genauigkeit und wohl nicht leicht übertreffender Feinheit der angewandten Instrumente hat endl auch Forbes[5] die Beantwortung dieser lange streitigen Fr versucht. Hierzu bediente er sich nicht nur eines sehr fei Thermomultiplicators, sondern concentrirte auch die Strah durch eine 30 Zoll im Durchmesser haltende Polygonallinse Soleil in Paris bis zum 6000 fachen, so dafs, wenn die Hä für Reflexion, Absorption und Dispersion abgerechnet w stets noch eine 3000 fache Concentration übrig bleibt. O die Messungen einzeln zu beschreiben, wird es genügen zu merken, dafs er nicht den kleinsten erwärmenden Effect Mondstrahlen wahrzunehmen vermochte. Wird dieses mit Grenze der Feinheit zusammengenommen, bis zu welcher Anzeigen seines Apparates reichten, so führt dieses zu dem l sultate, dafs die directen Mondstrahlen nicht ein Dreimalhı derttausendstel eines hunderttheiligen Thermometergrades Wä

1 Silliman Amer. Journ. of Sc. T. II. p. 329.
2 Edinburgh New Phil. Journ. N. IX. p. 325.
3 Biblioth. univ. T. XIX. p. 85.
4 Poggendorff's Ann. XXVII. 449.
5 On the Refraction and Polarisation of Heat. p. 7. In Ed Phil. Tr. T. XIII.

also dieses Problem wohl für
uten seyn dürfte.

rch Zusammendrückung
ibung.

es Mittel der Wärmeerzeugung
r und expansibeler Körper, das
Ietalle und Hölzer, das Pressen
Schleifen, Reiben, Klopfen und
ien Processe. Um die verschie-
inungen, wovon nur die bedeu-
gehörig zu sondern, wollen wir
ksichtigen.

er, im Gegensatze der tropfbar-
:t oder gerieben, so erfolgt stets
ı sofort, wenn man einen höl-
oder selbst ein Band, ein Seil,
durch die Hand zieht. Maschi-
Vagenaxen beim schnellen Fahren,
'olge geeigneter Schmiere leicht
.n Beispiel dieser Art zeigt die
elche neu gemacht war und sich
iben sollte, dabei aber bis zum
mit mehreren aufgegossenen Kü-
hlt werden mufste. Wird ein
ınk schnell umgedrehet und ein
tritt Verkohlung beider ein, es
r Geruch verräth beginnende Ver-
;lich oder mindestens sehr schwie-
Entzündung hervorzubringen oder
rhitzten und zuletzt wirklich ver-
:n werden. Weit praktischer für
den der wilden Völker, durch die-
, dessen sie sich in Ermangelung
ıgen zu diesem Zwecke ausschliefs-
ilde in Brasilien, namentlich die
ei getrocknete Holzstäbchen, unge-

II. S. 78. Th. III. S. 154. Brodbel's

führ einen Finger dick, das eine versehen sie mit Vertiefungen, dem andern geben sie eine Spitze, stecken letzteres in das hohle Rohr eines Pfeiles, stemmen die Spitze in eine der Vertiefungen und drehen das obere Ende schnell, wie einen Quirl zwischen den Händen, wodurch Schabsel in der Grube entsteht. Dieses wird erst braun und fällt zum Theil herab, zuletzt aber entzündet es sich und wird zur brennenden Kohle[1]. Aehnliche Stäbe sah Campbell[2] bei den Betschuanen in Africa, die sich derselben als eines gewöhnlichen Feuerzeuges bedienten. Auch die Neuholländer in King-George's Port machen dadurch Feuer an, dafs sie zwei Hölzer an einander reiben, bis eine Verkohlung und zuletzt eine wirkliche Entzündung entsteht[3], nicht minder die Bewohner von Tahaity, welche das eine der Hölzer gegen die Brust stemmen und mit dessen unterem Ende in dem zweiten eine Furche erzeugen, worin sich feine abgeriebene Holztheilchen sammeln, die sich durch starkes Reiben erhitzen und endlich entzünden[4]. Sehr lange bekannt ist, dafs sich die Araber gleichfalls dieses Mittels bedienen, bei denen die gebrauchten Hölzer eigne Namen haben, *Markh* und *Aphar*, auch beide zusammen *Zabdan* (die Reiber)[5]. Dafs endlich diese Methode auch den Alten bekannt war und sie sich derselben bedienten, unterliegt nach glaubhaften Zeugnissen keinem Zweifel[6]. Es ist daher die grofse Hitze gar nicht zu bewundern, welche die Hemmschuhe annahmen, wenn sie auf Blackfriar's Brücke unter den Rädern schwerer Lastwagen geschleift wurden[7]. Hierher gehört auch die Methode, Glasröhren oder Stäbe abzusprengen, indem man einen Bindfaden um sie schlingt und diesen durch Bewegung der Röhre stark an ihnen reibt, sie dadurch partiell erhitzt und dann auch wohl durch einen Wassertropfen abkühlt, denn wenn der durch die Harpune getroffene Wallfisch sich schnell in die Tiefe stürzt und das über den Bord des Kahnes gleitende Seil mit grofser Geschwindigkeit nach sich zieht, so mufs diese Stelle stets mit Wa

1 Eschwege Journal von Brasilien. Weim. 1818. Ht. I. S. 149.
2 Reise in Africa. Weim. 1823. S. 87.
3 Dumont d'Urville Voyage.
4 Kotzebue Neue Reise um die Welt. Weim. 1830. S. 118.
5 J. D. Michaelis verm. Schriften. S. 97.
6 Plinius H. Nat. Lib. XVI. cap. 40.
7 Ann. of Philos. N. S. T. VII. p. 142.

keine Entzündung entsteht, da ohne-
n Rauch oft das ganze Boot einge-
bemerkte, dafs ein Stück Fenster-
am Schleifen bei verstärktem Drucke
en Stelle bis zum Rothglühen erhitzt
te, die Schiefspulver zu zünden ver-
uch das *Entzünden der Kohlen*, na-
Faulbaumholz, durch Reiben[2], wel-
780 bei einer Pulvermühle auf Isle
ı gelang es ihm, Kohlenpulver durch
Brand zu setzen, weswegen man die
ulvers einzeln zu zermalmen pflegt.
ete sich, nach einer Erzählung von
tich die auf einem horizontalen Mar-
e unter dem Läufer.
eise, als beim Reiben, wozu auch das
Wärme durch schnelle Zusammen-
B. in einem Schraubstocke oder beim
ckelt. Auch weiche Körper, als Le-
zeug, trockne Pflanzenstoffe u. s. w.,
es Hämmern, vorzugsweise aber Me-
dieser Beziehung ist die Erzählung
st die gesammte Schiffsmannschaft mit
ne Feuer und künstliches Licht hin-
Sturme alle Gegenstände durchnäfst
hher ein gemeiner Schmidt belehrte,
Hammer die Spitze eines Nagels auf
rk schlagen und schnell an Schwefel
n Brennen zu bringen. Als wissen-
Bestimmung der Wärmemenge, die
ke Zusammendrückung erzeugt wird,
ı Berthollet[5] angestellten bekannt.
einer zur Münze gehörigen Prägema-
prefste vermittelst derselben geeignete

p. 45.
ng des Kohlenpulvers als pyrophorischer
ede seyn.
XX. 620.
reibung. Th. II.
Arcueil. T. II. p. 441.

Metallscheiben, warf sie dann sogleich in Wasser und bestimmte aus dessen Temperaturzunahme die Menge der erzeugten Wärme. Es ergab sich hieraus, dafs selbst durch starke Pressung bei weitem nicht so grofse Hitze, als durch Reiben erzeugt wird, und dafs die erhaltene Quantität bei fortgesetzten Pressungen des nämlichen Stückes abnimmt, vermuthlich bis zum gänzlichen Verschwinden. So betrug die Wärmevermehrung bei zwei Stücken Kupfer

beim ersten Stofse	1. Stück	9°,69
	2. Stück	11,56
beim zweiten Stofse	1. Stück	4,06
	2. Stück	2,50
beim dritten Stofse	1. Stück	1,06
	2. Stück	0,81

im Ganzen also beim ersten Stücke 14°,81, beim zweiten 14°,87, bei beiden also bis zur unvermeidlichen Fehlergrenze gleichviel. Nicht ganz so genaue Gleichheit gaben zwei Stücke Silber, nämlich 8°,19 und 6°,37 C. Hiernach gab aufserdem Kupfer mehr Wärme als Silber und dieses mehr als Gold. Uebereinstimmend hiermit wurde das spec. Gewicht der Metalle durch das Pressen ungleich vermehrt, beim Golde von 19,2240 zu 19,2357; beim Silber von 10,4667 zu 10,4838; beim Kupfer von 8,8529 zu 8,9081. Berthollet schliefst hieraus, dafs die erhaltene Wärme eine Folge verminderter Wärmecapacität der Körper sey. Wird Eisen oder Stahl auf einem Sandsteine stark geschliffen, so reifsen sich kleine Stückchen des Metalles los und verbrennen beim Fortfliegen durch Aufnahme von Sauerstoffgas aus der Luft in Folge der starken Erhitzung, die in den kleinen Stückchen vorzugsweise gesteigert wird[1]. Diesem ähnlich sind die Funken des Stahls beim gewöhnlichen Feuerschlagen, indem dann gleichfalls die feinen abgerissenen Stahltheilchen in der Luft verbrennen. Hiernach können diese Splitter im luftleeren Raume nicht zum Verbrennen kommen und daher auch das Schiefspulver nicht entzünden, denn obgleich sie einen bedeutenden Grad von Wärme erhalten, so werden sie doch, ehe sie das Schiefspulver erreichen, zu sehr

1 Auch beim Schleifen des Glases, besonders auf trocknen Steinen, bemerkt man Lichtfunken und Lichtscheine, die aber eine Folge der Phosphorescenz seyn dürften.

sselbe entzünden könnten. Nach
man übrigens schliefsen, dafs sie
bis zur Glühhitze gebracht wür-
um einen Lichtschein verbreiten; es
afs dieser blofs Folge des Phospho-
enn die schärfsten Feuersteine geben
kiesen dagegen, wenn diese den Feuer-
Nicht blofs diesen Lichtschein, son-
en geben auch zwei an einander ge-
Quarzstücke, ungeachtet dabei kein
landen ist. Die abgerissenen, auf
nen, kleinen Stückchen erscheinen
nan davon ableitet, dafs sie beim
handenen brennbaren Theilchen ver-
ch die Funken auch beim Zusam-
zeigen[2], so kann hierin die Ursache
chwärzung ist vielleicht aus opti-
Dafs übrigens auch hierbei grofse
cht zu bezweifeln, da die Einwoh-
nzünden sollen, indem sie die Fun-
agenen Quarzstücke, die vorher mit
a trocknem Grase auffangen[3].
ch sollte man schliefsen, dafs auf
Zusammendrückung fester Körper
urch ihre Ausdehnung Kälte entste-
ten expansibeler Flüssigkeiten unter-
noch aber zeigt die Erfahrung das
gen, Drähte u. s. w. schnell zerbro-
ere einen Eisendraht durch schnelles
m Abreifsen bringt, so entsteht alle-
ch zeigen sich die abgerissenen En-
nter geeigneten Bedingungen durch
gt man einen Streifen Federharz an
mpfindlichen Theil des Gesichts und
liches Anziehen seiner beiden Enden

XXII. p. 335.
sgründe d. Physik. 3. Aufl. Wien 1827.

dans le Nord de la Russie. Par Sa-

stark aus, so wird Wärme empfunden[1]. Inzwischen ist dieses Verhalten den Naturgesetzen keineswegs zuwider. Durch solche Ausdehnungen wird auf jeden Fall eine Reibung der Theile an einander bewirkt, weswegen auch Barlow[2] die beim Zerreifsen der Eisendrähte entstehende Wärme aus einer Reibung der inneren Theile ableitet; allein aufserdem ist die Ausdehnung, absolut genommen, nur scheinbar, indem zwar eine Verlängerung der Körper, keineswegs aber eine allgemeine gröfsere Entfernung ihrer Molecüle eintritt; überhaupt aber ist dieser Procefs, in Beziehung auf das stabile Gleichgewicht der Molecularkräfte betrachtet, ein sehr zusammengesetzter, insofern ein durch Gewichte beschwerter Draht sich ausdehnt, also an Gröfse seines Querschnittes abnimmt, aber dennoch der ihn zum Abreifsen bringenden Kraft einen stets zunehmenden Widerstand entgegensetzt[3].

104) Aufser diesen zahlreichen Erfahrungen über Wärmeentwickelung durch Reiben giebt es noch eine Menge für wissenschaftliche Zwecke angestellte Versuche. Zu den bereits erwähnten von Rumford[4] und Davy gehören vorzüglich noch die von Pictet[5] angestellten, welcher die durch Reiben erzeugte Wärme aus einer Zersetzung der Luft ableiten wollte, weil er die vom Stahle abgerissenen Partikeln im luftleeren Raume nicht so verbrannt sah, als im lufterfüllten. Er richtete daher einen Apparat so ein, dafs kleine Schalen sich durch ein Uhrwerk gedrehet an verschiedenen Substanzen mit ungleicher Geschwindigkeit rieben, ein Thermometer aber, welches in die Vertiefung der Schälchen hinabreichte, ohne deren Fläche zu berühren, das Mafs der erzeugten Wärme angab, und da die

1 Thomson System cet. T. IV. p. 197.

2 Annals of Philos. T. X. p. 311.

3 Lagerhjelm bemerkt, dafs sich Wärme aus abgerissenen Eisenstangen entwickelt, und dennoch geht ihr spec. Gewicht von 7,821 bis 7,777 herunter, wonach also keine Vermehrung der Dichtigkeit statt findet. Berzelius Jahresbericht Th. VIII. S. 77. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 384. Die Verminderung des spec. Gew. würde wohl zweifelsohne noch gröfser seyn, wenn alle Theile durch die mechanische Gewalt mehr von einander entfernt und nicht auch einige genähert würden.

4 Vollständig mitgetheilt nebst Zeichnungen der gebrauchten Apparate in Scherer's Journ. Th. I. S. 1.

5 Versuch über das Feuer. Tüb. 1790. Cap. 9. S. 184.

den Recipienten einer Luftpumpe Einfluſs der Luft bequem dadurch i sah PICTET, als eine Schale von l gerieben wurde, in der Luft ein 4mal verdünnter Luft aber nur im ın Schein; das Thermometer zeigte einem zweiten Versuche eine Messen und die Thermometerkugel tiekt wurde, stieg das Thermometer gter Reibung, in 28mal verdünnd des Reibens. Als Messing an las Thermometer höher, und noch olz rieb, mehr aber im luftveren Raume. Weit stärkere Ente sich, als die Schale nicht selbst as Baumwolle enthielt, die sich der Thermometerkugel selbst rieb, dünnten Raume die Wärme am

ıtigte, die durch RUMFORD angenderten Bedingungen und mit verwiederholen, weswegen auch die n Apparate eine gewisse Quantität schen gesteht er selbst, daſs die iese Aufgabe umhüllt, durch seine ehellet worden sey, obgleich sie allerchen genauer festzustellen. Vor allen ıerwartet groſse Menge von Wärme, ickelt wird und sehr von der Be- Körper abhängt, aber nicht von lei gab weniger Wärme als Zink. des Druckes von groſsem Einfluſs; eilenartig rauh gemachter Stahl, auf ne beträchtliche Menge vom letztele, kaum halb so viel Wärme, als che, und ebenso gab das Plattschla-

. LXV. p. 218. Nicholson's Journ. T. ro diese Versuche bereits erwähnt wor-

gen eines Drahtes mit einem Hammer weniger Wärme, als da einfache Reiben. HALDAT wirft die Frage auf, warum di Metalle, wenn sie beim Zusammendrücken viele Wärme (au ihren Poren?) hergeben, diese bei ihrer Wiederausdehnun nicht wieder verschlucken? Die Erfahrung ist dagegen, inden gerade das elastischere Zink die gröfsere Hitze erzeugte, un dann bliebe die grofse Menge der durch blofses Reiben hervorgerufenen Wärme immer noch durchaus räthselhaf (§. 14).

106) An diese Versuche lassen sich zunächst die vo J. MOROSI[1] anreihen, welcher gleichfalls einen hölzernen Cylinder an verschiedenen Metallen reiben liefs und die den Wasser dadurch mitgetheilte Wärme mafs. Da die absolut Menge des angewandten Wassers nicht angegeben ist, s sind die erhaltenen Resultate nur unter sich vergleichbar. Hieraus ergiebt sich dann, dafs Holz an verschiedenen Metalle gerieben unter gleichen Bedingungen fast gleiche Mengen vo Wärme giebt, Blei aber auffallend mehr als die übrigen, Stah mehr als Eisen. Im Ganzen folgten die Metalle vom ergiebigsten zum mindest ergiebigen in folgender Ordnung: Blei, Zink Stahl, Messing, Kupfer, Eisen, Zinn. Durch Vermehrung de Druckes von 2 ℔. zu 4 ℔. wuchs die Wärmeerzeugung zwischen 1 zu 1,15 bis 1 zu 1,52.

107) Die neuesten beachtenswerthen Versuche über Reibung sind durch BECQUEREL[2] angestellt worden, welcher nich blofs die geringsten Wärmeerzeugungen aufzufinden strebte un sich dazu einer thermoelektrischen Säule bediente, die fü 0°,01 noch eine merkliche Abweichung der Magnetnadel gab sondern auch das gleichzeitige elektrische Verhalten der geriebenen Körper zu bestimmen suchte. Diesemnach befestigte e die geriebenen Körper an isolirenden Glasstangen und prüft dann zugleich die erzeugte Wärme und Elektricität. Zu besserer Vergleichung war die Dauer und Stärke der Reibung jederzeit gleich. Von welcher Art die geriebenen Körper seyn

1 Poggendorff's Ann. XII. 195. Entnommen aus Bullet. univ. des Sciences. Sect. 1. T. V. p. 36. Ursprünglich beschrieben in: Alcuni Sperimenti cet. Milano 1822. 4. Vergl. Biblioth. univ. T. XXI. p. 91.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 324. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 363. Vergl. l'Inst. VI. Ann. N. 248. p. 319.

l, wenn ihre Abweichung nicht über
10 Sec. ihr Maximum, betrug sie
, Sec., betrug sie aber von 75 bis
BECQUEREL betrachtet hiernach die
el wie Pendelschwingungen, mit
. der Wirkung der Schwere die
längern, hier aber einer kürzern
wei Körper mit ungleichen Ober-
, so erhält mit zunehmender Stärke
rauhe Fläche die gröfste Wärme,
n, die eine mit polirter, die an-
äche an einander gerieben werden,
mehr Wärme; ebenso zwei Kork-
die andere glatt ist. Bei unglei-
verwickelter, z. B. polirtes Glas
rhältnifs von 34 zu 5 des ersteren
nes Glas an Kork von 40 zu 7;
12; Federharz und Kork von 29
setz läfst sich daher nicht aufstel-
r der Substanz, als auch die Be-
Einflufs haben.

Theorie dieser Erscheinungen geht
len Gelehrten, namentlich den fran-
wohl allein richtigen Ansicht aus,
sives Princip, unter dem Einflusse
steht, an sich aber und gegen ihre
wirkt, daher durch alles dasjenige
as stabile Gleichgewicht der Mole-
rt. Als Beispiel führt er an, dafs
1 Th. Eisen und 2 Th. Antimon
giebt, also eine ähnliche Erschei-
zeug. Zugleich aber sucht er die
ler Elektricität zu ziehn, weil die
Veränderung der Lage der Molecüle
Elektricität frei werden läfst. Zwi-
ach seiner Ansicht ein Zusammen-
ist schwer, diesen aufzufinden, na-

ie erzeugte Wärmemenge weniger durch
eibung, als durch verstärkten Druck.

mentlich sofern man noch nicht weiſs, welches von beiden dem andern vorausgeht. Vermuthlich entspringt aber, wie er meint, die Wärme aus der Elektricität, wenn beide Körper von gleicher Natur, schlechte Wärmeleiter und bloſs durch die Beschaffenheit ihrer Oberflächen verschieden sind, wobei dann die sich am stärksten erhitzende Oberfläche negative Elektricität annimmt. Bei ungleichen Körpern hält Becquerel die Bestimmung für sehr schwierig, was übrigens ein sehr gewichtiges Argument gegen die Zulässigkeit der Hypothese ist, die sich im Fall ihrer Richtigkeit den verschieden modificirten Phänomenen leicht müſste anpassen lassen. Einige Aufklärung glaubt er aus der Phosphorescenz der Körper entnehmen zu können, sofern alle Ursachen, welche diese erzeugen, auch Elektricität hervorrufen sollen. Man dürfe demnach die Phosphorescenz von einer unendlichen Menge kleiner elektrischer Funken ableiten, welche die Molecüle der Körper geben. Dieses gehe auch aus Ehrenberg's Versuchen hervor, welcher aus den phosphorescirenden Seethierchen lauter kleine Fünkchen entspringen sah. Hiermit wird der Umstand in Verbindung gebracht, daſs das Leuchten als bedingt durch die Willkür der Thierchen erscheint, wenn sie gereizt werden, analog den elektrischen Schlägen der Fische. Becquerel dehnt dieses so weit aus, daſs nach Berzelius und Andern das Licht beim Verbrennen der Körper das Resultat einer unendlichen Menge frei werdender elektrischer Funken seyn soll. Hiernach wäre also die Elektricität, die Wärme und das Licht aus einer gemeinschaftlichen Quelle, einem gewissen Aether, abzuleiten. Es dürfte sich indeſs kaum der Mühe lohnen, die vielen Argumente aufzuzählen, welche dieser Hypothese entgegenstehn, denn so leicht es auch ist, die drei Inponderabilien, die ihrer Wesenheit nach groſse Aehnlichkeit mit einander haben müssen, gleichartig zu nennen, weil die Erscheinungen, die sie uns darbieten, viel zu zahlreich sind, als daſs eine solche Hypothese nicht durch einige scheinbare Analogieen unterstützt werden könnte, so wird doch dadurch gar nichts gewonnen, weil uns noch keiner von diesen ätherischen Stoffen seiner eigentlichen Beschaffenheit nach bekannt ist und daher bei einem Erklärungsversuche dieser Art allezeit ein dunkles Etwas auf ein nicht minder dunkles zurückgeführt wird. Auf der andern Seite aber wachsen die Schwierigkeiten bedeutend, indem

ıngen, welche eine jede dieser ätheri-
t, auf allgemeine Gesetze zurückzu-
ınn noch obendrein die bedeutend he-
lerselben, wie sie sich bei allen dreien
n, ein einziges allgemeines Princip als
ıge erfordern. Namentlich dürfte es
, den unverkennbaren Unterschied der
Elektricität mit den einfachen Undula-
ı vereinigen. Wie leicht es übrigens
nit einigem Scheine hinzustellen, da-
'. Graham[1] ein auffallendes Beispiel.
veder im Zustande mit starker Kraft
ls strahlend vorhanden, oder im Zu-
ls Oberflächenwärme (*superficial heat*).
tztere in die erstere verwandelt wer-
ch andere aus der Umgebung zufliefst.
gel dieser Oberflächenwärme sollen dann
Erscheinungen hervorgerufen werden.
veitem nicht so schwierig seyn, als
die Wärmeerzeugung durch Reiben,
ter Körper zu erklären, sobald man
gestellte Hypothese von den Undula-
larauf anzuwenden, und diese gewinnt
hkeit um so mehr, je leichter sich
ten Wärmephänomene der Erklärung
erigkeit, woher die grofse Menge der
Jrsprung nehme, fällt hiernach von
ı nichtig, als wenn man sich abmühen
ıd die Ursache der mechanischen Be-
zukommend betrachteten Luftmassen
rzeugtem Schalle massive Mauern er-
vird auch bei den genannten Processen
Körper nicht direct vermehrt, wohl
etzt, und zwar nicht blofs die des ei-
sondern beider, obgleich nach ihrer
nheit in ungleicher Stärke. Diese
den benachbarten Körpern mit, de-
chfalls an diesen Schwingungen Theil

T. XII. p. 260.

nimmt, weswegen die vermeintliche Wärmequelle eine unerschöpfliche seyn mufs. Diese Erklärung läfst sich übrigens den Thatsachen noch genauer anpassen, und BECQUEREL war allerdings auf dem richtigen Wege, als er die Wärmeerzeugung durch Reiben auf das stabile Gleichgewicht der Molecularkräfte zurückzuführen suchte. Wir dürfen bei diesen, wie bei so vielen andern Erscheinungen, von dem unbestreitbaren Hauptsatze als einer sichern Grundlage ausgehn, dafs die Molecüle der Körper durch den Conflict der Attractions- und Repulsionskraft im stabilen Gleichgewichte gehalten werden, und dafs diese Repulsivkraft, wenn sie nicht lediglich durch den Wärmestoff gegeben wird, doch sehr von ihm abhängt, sofern dieser, mit Abstofsung seiner Elemente versehn, durch die Molecüle der Körper angezogen, zugleich aber auch, unter geeigneten Bedingungen, von ihnen wieder getrennt wird. Hieraus folgt von selbst, dafs alles, was die Attraction der Molecüle afficirt, auch auf die abstofsende Wärme einen Einflufs haben und nach der Natur expansibeler Flüssigkeiten den Wärmeäther ebenso in schwingende Bewegung setzen mufs, als der Stofs eines festen Körpers gegen ruhende Lufttheilchen die sich fortpflanzenden Undulationen in dieser elastischen Flüssigkeit erzeugt. Die Schallwellen, deren genauere Kenntnifs uns so grofsen Vorschub bei der Erklärung der optischen Erscheinungen geleistet hat, können uns auch zur klarern und richtigern Einsicht der Wärmephänomene verhelfen. Sobald feste Körper einander bis auf verschwindende Entfernung genähert werden, was wir Berührung nennen, so mufs zwischen den sich berührenden Theilchen die Anziehungskraft thätig und dadurch schon von selbst die durch sie im Gleichgewicht gehaltene repulsiv wirkende Wärme afficirt werden. Die somit erzeugten Undulationen des Wärmeäthers müfsten sich sofort durch die gesammte Masse der Körper fortpflanzen, wenn nicht die Wärme durch ihre Anziehung gegen die Molecüle der Körper zu sehr gebunden wäre; an der Grenze der berührenden Flächen ist aber diese Anziehung weit schwächer, und die Schwingungen treten daher nicht blofs leichter ein, sondern verbreiten sich auch von hier aus in das Innere der Körper, wenn die Bedingungen hierzu günstig sind. Wird daher ein fester Körper gestofsen, geschlagen oder zusammengedrückt, so treten die Oscillationen seines Wärmestoffes momentan ein. Am deut-

erwähnte Erfahrung und die von
es Feuerschlagens auf Unalaschka
dung, welche den leicht entzünd-
ı bringt, wohin auch das Feuer-
t. Ungeachtet dieser momentan
Compression aus leicht begreifli-
Wärme, als das Reiben, wie auch
ſs eben beim Reiben die Attraction
en Theilchen beider Körper in je-
Zeitmomente eingeleitet und wie-
rch dann die Vibrationen des der
enden Wärmestoffs nothwendig be-
die durch Reiben erzeugte Wärme
n des Wärmeäthers ist, welcher
r geriebenen Körper zugehört, die
in das Innere derselben fortpflan-
eben in Folge dieser Wellenbewe-
aus den entferntern Theilen der
se Vibrationen statt finden, wozu
rhanden ist. Uebrigens zeigt die
bestimmt zu beantworten, daſs die
ei der Annahme von Wellenbewe-
noch immer in Dunkel gehüllt
ı berücksichtigt, daſs die durch Rei-
örpern bleibend inhärirt.

sigkeiten widerstehn jeder zusam-
ehr, daſs ihr Volumen selbst durch
ermindert und zugleich keine meſs-
eugt wird[1]. Die, so viel mir be-
ndene Ursache dieser Abweichung
dürfte darin zu suchen seyn, daſs
n das stabile Gleichgewicht beider
liche Weise statt findet, indem bei
de Wärme in einem hohen Grade

s in Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI.
II. S. 489. Die dort erwähnten Versu-
die erzeugte Wärme muſs ausnehmend
cses sie wahrgenommen und gemessen
. et Phys. T. XX. p. 141.

angehäuft ist, sofern jedes Molecül sich in jeder Lage zu den umgebenden im Gleichgewichte befindet. Jeder angewandte Druck wirkt daher nicht auf einzelne Molecüle, um sie den angrenzenden mehr zu nähern, wodurch dann, indem die Kräfte ihr Gleichgewicht wieder herzustellen streben, die Wärmeoscillationen entstehn, sondern der Druck pflanzt sich durch die gesammte Masse gleichmäfsig fort und die Gegenwirkung der unendlich vielen, gleichzeitig in Conflict kommenden Molecüle macht eine stärkere Annäherung derselben und ein Ausscheiden von Wärme unmöglich. Wird ihnen dagegen ein Theil Wärme entzogen, so dafs hierdurch die Molecül einander näher kommen, so nehmen sie eine andere gegenseitige Lage an und Wärme wird frei. Dieses zeigt sich überhaupt bei allen Erscheinungen des *Gestehns* oder *Gefrierens* und insbesondere auch beim Coaguliren des Blutes. Letztere Thatsache ist schwer zu ermitteln; denn da beim Versuche die Wärme des Blutes die der Umgebung übertrifft, so hindert die allmälige Abkühlung sehr die Genauigkeit der feinen Messungen. Inzwischen giebt schon Fourcroy[1] an, dafs das Gestehn des Ochsenblutes 5° Wärme erzeugt habe. Hunter gelangte durch seine Versuche mit Blute von einer Taube zu einem gleichen Resultate; am entscheidensten aber sind die Erfahrungen von Gordon[3]. Als das Blut aus der Arterie eines Hundes, in einem Becher aufgefangen, an der Oberfläche zu coaguliren anfing, wurde mit einem empfindlichen Thermometer jedesmal eine Minute lang zuerst die Temperatur des obern coagulirenden und dann des untern Theiles gemessen; die Temperatur des Zimmers war 7°,8 C. Im obern Theile zeigt das Thermometer 34°, im untern sank es bis 30°,5; wieder in die Höhe gehoben stieg es bis 33°,5 und sank unten bis 30° abermals in die Höhe gehoben stieg es bis 32° und sank unten bis 28°,8; bei der nächsten Erhebung stieg es bis 31° und ging unten bis 28°,5 herab. Nach 18,5 Minuten seit dem Auffangen des Blutes zeigte es oben 25°,5, unten 24°, ging dann in 2 Minuten auch oben bis 24° herab, und im durchaus coagulirten Blute war die Temperatur überall gleich. Be

---

1 Annales de Chimie. T. VII. p. 147.
2 Treatise on blood cet. 4. p. 47.
3 Annals of Philos. T. IV. p. 139.

als GORDON Venenblut eines an
nes in einem länglichen Glase aufge-
mehrern Minuten, als oben ein Coa-
mit seiner Kugel den Boden des Gla-
ter 22°,8 C., stieg aber sofort auf
das Coagulum gehoben wurde, und
zurückgebracht wieder bis 22°,8 zu-

·ession der Gase nicht blofs Wärme,
ım Erglühen erzeuge, ist gegenwär-
ache, indefs scheint DALTON[2] der
welcher diese Erscheinung einer nä-
arf; wenigstens finde ich diese Wär-
;en Sammler GEHLER nicht angege-
›ewies nicht blofs die Erhöhung der
:ssion der Luft, sondern auch ihre
lünnung derselben, welches beides
ırgenommen, aber für eine Folge des
auf das Thermometer gehalten hatte.
Versuche des englischen Gelehrten,
theilen jetzt überflüssig seyn würde,
›estätigende herbei. Dahin gehören
.A RIVE und MARCET[4]. Läfst man
ıdliches Thermometer in einem gro-
durch ein feines Rohr Luft strömen,
Elasticität der Luft 4 Zoll Barome-
ın stationär, bis zu 6 Z. Barometer-
t bedeutend. Die Wirkung ist der
Grade der Compression der hinein-
ıl, auch kann man leicht eine grö-
ırbringen, wenn man die hineinge-
wegschafft. Die Ursache liegt of-

eentbindungen dieser Art wird im Ab-
die Rede seyn.
Manchester. T. V. p. 515. G. XIV. 101.
em. Chem. T. II. p. 480 sagt, die zu-
Värme von sich, wie ein nasser Schwamm
nicht bekannt, dafs man später dieses

. 276.

fenbar darin, daſs die anfangs hineingelassene Luft sich ausdehnt und hierzu Wärme bedarf. Auch TILLOCH[1] nahm wahr, daſs durch beträchtliche Zusammendrückung der Lu Wärme und durch ihre Verdünnung Kälte erzeugt wurde GAY-LUSSAC[2] benutzte nach DALTON's Aeuſserung die hier durch erzeugte Erhöhung und Verminderung der Temperatı bei seiner classischen Untersuchung der Wärmecapacität de Luft unter verschiedenem Drucke, das Problem der Wärmeer zeugung durch Compression aber wurde bedeutend erweitert un unerwartet weit über die erforderliche Grenze hinaus bestätig durch die Erfindung des *Tachopyrion* oder *pneumatische Feuerzeugs*, wovon bereits oben[3] ausführlicher die Rede wa Es möge daher hier nur nachträglich bemerkt werden, daſs d sogenannten *briquets pneumatiques* zuerst durch DUMOTIEZ 6 lang und von 2 Lin. innerem Durchmesser verfertigt wurden LE BOUVIER-DESMORTIER aber verfertigte sie aus Glas, ur entdeckte dann den Nebel, welcher in denselben beim schnel len Comprimiren der Luft entsteht und den er für freien Wä mestoff hält[5]. Als er nachher fand, daſs die Luft durch sta kes Comprimiren ohne Schwamm und unter Wasser, um ge gen das Entweichen eines Theiles derselben gesichert zu sey an Volumen verringert werde, glaubte er hierin eine Bestäti gung seiner Hypothese vom Entweichen der Wärme zu fi den[6]. Nach THÉNARD's[7] Versuchen wird jede Gasart im Ta chopyrion durch Comprimiren erhitzt, und die erzeugte Wärn übersteigt 205° C., das Leuchten aber, welches bloſs bei An wesenheit von Sauerstoffgas oder Chlor statt findet, hält er f eine Folge davon, daſs sich etwas Wasser und Salzsäure bil

---

1 Philos. Magaz. T. VIII. p. 216.

2 Mém. de Phys. et Chim. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 18 Gehlen N. Journ. Th. VI. S. 392.

3 S. Art. *Feuerzeug*. Bd. IV. S. 232. MOLLET machte dasselbe i J. 1803 zu Paris bekannt, s. Journ. de Phys. T. LVIII. p. 457, doc behauptet PICTET in Bibl. brit. 1803. Juli p. 331, daſs ein gewisse FLETCHER in England schon anderthalb Jahre früher durch Compres sion der Luft Entzündung hervorgebracht habe.

4 Journ. de Phys. T. LXII. p. 189.

5 Ebendaselbst T. LXVII. p. 130.

6 Ebend. T. LXVIII.

7 Ann. de Chim. et Phys. T. XLIV. p. 181.

ei Anwesenheit von Sauerstoffgas sehr nafs ist. Holz und Papier wenn die Compression so stark meter Quecksilberhöhe zu tragen . eine Folge davon, dafs sich das :teres nur mit Papier, welches mit der verbrennlichen Substanz

ung durch Luftcompression hat rung der Hitze benutzt, welche ntritt in die Atmosphäre aus der len, inzwischen ist die Unhaltbar- achgewiesen worden[1]. Auch die Erhitzen des geschleuderten Bleies und Prevost aufgesucht worden der dichterischen Phantasie wohl ier Thatsachen dienen. Auffal- nur von Blei, nie aber von an- : Rede ist. Uebrigens wollen i der Kanonenkugeln, namentlich en Rauch und eine Verkohlung iommen haben, was man aller- r Luft, wo nicht der vegetabili- ten könnte, allein zuvor müfste atirt seyn, da der vermeintliche rkohlung blofs eine Schwärzung n könnten. Die Angaben des welcher in Aegypten abgeschos- behauptet, die durch den Luft- dern sogar dem Schmelzen nahe u anderweitiger Bestätigung auf

nige Wärme zu finden, wel- arten entbunden wird, geben zwar

. S. 2148.
VI. v. 177 u. 305. Ovidius Metam.
ius Aen. L. IX. v. 586.

'. XXXIII. p. 336.

keine absolute Entscheidung dieser schwierigen Frage, verdienen aber dennoch nicht unbeachtet zu bleiben. Er hing nämlich in einem Ballon ein empfindliches Thermometer auf, exantlirte, bis die Dichtigkeit der Luft noch 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 der äufsern betrug, liefs die Luft dann einströmen, beobachtete die Grade, um welche das Thermometer stieg, und fand hieraus, dafs die Zunahme der Temperatur $= y$ allgemein durch die Formel $y = 45^{\circ}\left(\frac{1}{d} - d\right)$ in Graden der Fahrenheit'schen Scale ausgedrückt werden kann, wenn d den Grad der Dichtigkeit der Luft, die der äufsern $= 1$ gesetzt, bezeichnet, oder noch besser $y = 45^{\circ} x \left(\frac{2-x}{1-x}\right)$, wenn $1 - d = x$ ist[1].

113) Wenn durch Verdichtung der Luft Wärme erzeugt wird, so veranlafst dieses zu dem Schlusse, dafs die Verdünnung derselben Kälte zur Folge haben müsse. Die Erfahrung bestätigt dieses vollkommen, obgleich ich die Aeufserung von Gay-Lussac[2], dafs eine fünffache Verdichtung der Luft 250° C. Wärme erzeuge, eine gleich starke Verdünnung daher ebenso viele Kältegrade hervorrufen müsse, weder durch Theorie noch durch Erfahrung begründet finden kann. Schon Dalton nahm bei seinen erwähnten Versuchen beide einander entgegengesetzte Erscheinungen wahr, und auf gleiche Weise erhielten spätere Experimentatoren mit feinen Quecksilberthermometer ähnliche Resultate; am auffallendsten aber zeigt sich die Erscheinung bei der Anwendung eines Breguet'schen Metallthermometers, weil die Menge der in der dünnen schraubenförmig gewundenen Lamelle der drei Metalle enthaltenen Wärme so ausnehmend gering ist und daher von der sich ausdehnenden Luft schnell absorbirt wird. Stellt man ein solches Thermometer unter die Campane einer schnell exantlirenden Luftpumpe, und sorgt man dafür, dafs die Verdünnung ungefähr in gleicher Zeit erfolgt, als die Luft nachher wieder einströmt, so geht das Thermometer vorzüglich gleich anfangs, wenn die Verdünnung am schnellsten bewerkstelligt wird, auf einen bedeutenden Grad der Kälte, und kehrt, wenn die Verdünnung langsamer erfolgt oder man mit dem Exantliren aufhört, wie

1 Ann. of Phil. XIV. 17.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. IX. p. 305.

ıde zurück; läſst man hierauf Luft
ʾeiger auf der andern Seite wieder
zuweilen noch mehr Wärme an.
suche und aus theoretischen Grün-
ke Verdichtungen und Verdünnun-
Wärmemengen zu erzeugen und zu
e dieses durch die Erfahrung nicht
rf wohl mit Sicherheit annehmen,
8fache oder auch nur 12fache Ver-
, um Schwamm zu entzünden [1],
n Werthe gegen 300° C. Wärme
eine gleich starke Verdünnung eine
ıngenommenen absoluten Nullpunct
ı [2], allein es ist mir nie gelungen,
ch schnelles Aufziehn des Embolus
es erklärt sich leicht daraus, daſs
ıantität Wasser beim Gefrieren eine
eben würde, als erforderlich wäre,
꞉dehnten Luft auf eine Temperatur
ɔringen.

santer Apparat zeigt aber sehr auf-
vartet groſse Menge Wärme durch
ɔsorbirt werde [3]. Nimmt man ein

IV. S. 238. Vergl. Nicholson's Journ.

e Chim. et Phys. T. XVIII. p. 372.
. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 84.
ɪᴛᴇʀ will auch bemerkt haben, daſs ein
, aus welchem die vermittelst einer
imirte Luft entweicht, zu Eis gefriert.
. 186. Scherer's Journ. Ht. XVI. S.
ı dieses Versuches sehr unsicher seyn.
ılichen, durch Verdunstung erzeugten
ıng ein Thermometer zum Sinken brin-
nd er, daſs Luft aus einer Windbüchse
ıeterkugel strömend das Thermometer
auch gewahrte er einen gleichen Er-
lirten Recipienten einströmte, und er
steigende und dadurch verdünnte Luft
euge. S. Phil. Trans. T. LXXVIII. p.
Gʀᴇɴ dagegen war der Ansicht, die

cylindrisches Gefäfs aus fast 1 Lin. dickem Eisenblech hart gelöthet und mit zwei nahe halbkugelförmigen Enden, versieht es mit einem Hahn und prefst mittelst einer Compressionspumpe Luft bis zur dreifachen atmosphärischen Dichtigkeit oder darüber hinein, so erzeugt die Ausströmung derselben nach dem Oeffnen des Hahns nicht blofs merkliche Kälte, sondern vermag auch, wenn der Behälter hinlänglich grofs ist, also etwa 6 Zoll Durchmesser bei 18 Zoll Höhe hat, Wasser zum Gefrieren zu bringen. Für diesen Zweck darf nach meinen Erfahrungen die Oeffnung im Hahn nicht zu klein, nicht unter 0,5 Lin. im Durchmesser seyn, dann aber tritt die Eisbildung unfehlbar ein, wenn man einen Spahn, an dessen Ende sich ein in Wasser getränkter Wulst Baumwolle befindet, vor die Oeffnung hält; auch bemerkt man, wenn sich in der Röhre des Hahns etwas Wasser befindet oder die Luft im Innern sehr feucht ist, dafs kleine Eisstückchen aus der Oeffnung fliegen. Dasselbe Phänomen zeigt sich in sehr vergröfsertem Mafsstabe bei der bekannten Wasserhebungsmaschine zu Schemnitz in Ungarn[1], wenn nach der Ausleerung des Wassers die zum Emporpressen desselben dienende sehr comprimirte Luft entweicht. Hält man in den Strom dieser sich stark ausdehnenden Luft ein nasses Stück Zeug, so gefriert es sogleich, auch fliegen Eisstückchen, die aus der Feuchtigkeit im Rohre erzeugt sind, mit grofser Gewalt heraus[2].

115) Da durch Compression der Luft Wärme erzeugt wird, so fragt sich, ob diese nämliche Wirkung auch dann erfolgt, wenn die aus einem Blasebalge strömende Luft gegen ein Thermometer stöfst. Pictet[3] behauptet dieses, und er will sogar durch einen solchen Strom verdichteter Luft ein Steigen des Thermometers von 18° bis 33° wahrgenommen haben; inzwischen haben andere Versuche dieses nicht bestätigt, und es geht vielmehr aus den zahlreichen, durch Gay-Lussac und Welter angestellten hervor[4], dafs gar keine oder nur eine un-

Bindung und Entbindung der Wärme durch Verdünnung und Verdichtung der Luft sey blofs Folge der expandirten und präcipitirten Wasserdämpfe. S. dessen Journal Th. III. S. 197.

1 S. Art. *Pumpe*. Bd. VII. S. 976.

2 S. Journ. de Phys. T. XLVIII. p. 166.

3 Bibliothèque britannique T. XXXIII. p. 331.

4 Annales de Chim. et Phys. T. XIX. p. 436.

rung durch dieses Mittel hervor-
sammendrückung der Luft Wärme
ber Kälte, und beide hierbei ver-
ngen einander aufheben. Daher
bei der Schemnitzer Maschine so
primirte, dann nach einem Zeit-
n Ganzen sich so bedeutend aus-
Windkessel der Dampfmaschine zu
ft stets durch den Druck von 2,6
ird und sich sofort wieder aus-
Temperaturveränderung hervor[1].
ller dieser Phänomene ist nicht
anzen alle Physiker hierüber ein-
raft des repulsiv in den Gasarten
ch mechanische Gewalt überwun-
lecüle dagegen durch ihre gröfsere
fs Wärme ausgeschieden werden;
fsern Druckes dagegen entfernen
on einander, die Attractionskraft
ärmeatome haben leichtern Zutritt,
ellung des stabilen Gleichgewichts
die so verdünnten Gasarten den
n. Dafs aber durch Verdünnung
gen Wärme absorbirt, als durch
erden, scheint nicht blofs nicht
liegt sogar in der Natur der Sa-
ten Körpern ausgeschiedene Wär-
anden und wirft sich auf die ihr
anzen, die von den expandirten
den umgebenden Körpern; durch
tzogen werden, wozu einige Zeit
elcher sie von allen Seiten herzu-
Grund vorhanden zu vermuthen,
frei gewordene Wärme in Undu-
h stärkere Wirkungen äufsert, als
st; wenigstens führen zu diesem

Chim. et Phys. T. XXXV. p. 84. G.

of Chimistry. T. I. p. 150.

Schlusse die Versuche von Le Bouvier Desmortiers[1], welcher einen Lichtschein im gläsernen Tachopyrion wahrnahm einen Funken aber nur dann, wenn sich ein entzündliche Körper darin befand. Weil man nun diese Undulationen nicht mit in Rechnung nehmen kann, die den theoretischen Bestimmungen der Wärmemengen, die durch Compression frei, durch Expansion aber gebunden werden, zum Grunde liegenden Versuche aber nur mit geringen und langsam bewerkstelligten Verdichtungen und Verdünnungen angestellt wurden, bei denen diese vibratorische Bewegung nicht eintritt oder zu bald aufhört, als dafs sie einen mefsbaren Effect hervorbringen könnte, so dürfte hierin der Grund liegen, warum die Resultate der theoretischen Untersuchungen über die Menge der durch Compression frei gemachten, durch Expansion dagegen gebundenen Wärme mit der Erfahrung nicht übereinstimmen und deren Prüfung daher hier besser übergangen wird[2].

3) Wärmeerzeugung durch Verdichtung, durch Vereinigung und chemische Verbindung heterogener Körper.

117) Dafs durch die Verbindung verschiedener Körper Wärme entbunden wird, die nicht selten sehr bedeutend ist und oft sogar bis zum Erglühen steigt, wufste man seit den ältesten Zeiten; auch kommen diese Erscheinungen in so zahlloser Menge vor, dafs man sie als allgemein bekannt betrachten darf. Fassen wir aber das Gemeinsame aller dieser Erscheinungen zusammen, so kommen sie alle darauf zurück, dafs heterogene Substanzen sich mit einander verbinden, ihre Molecüle dadurch eine andere Lage annehmen, mithin in ein anderes Verhältnifs zu den Atomen des Wärmestoffes kommen und diese daher aus ihrem bestehenden stabilen Gleichgewichte mit der Attractivkraft gesetzt werden. Im Ganzen darf man nach theoretischen Gründen annehmen, dafs die Molecüle eines gegebenen Körpers sich nicht trennen und mit denen eines andern Körpers sich nicht verbinden würden, wenn letztere sie

1 Journ. de Phys. 1809. Mai. G. XXXIII. 228.

2 Vergl. Ivory in Phil. Mag. and Ann. T. I. p. 89 u. 165. Meikle in Edinb. New Phil. Journ. N. V. p. 149 u. a. a. O.

ende Kraft anzögen, wovon dann
scheidung des repulsiven Wärme-
eyn muſs. Eben dieser Erfolg muſs
bundene Körper sich trennen, selbst
nzugehn; allein eine Trennung in
der Natur der Sache nach nicht
Mitwirkung anderweitiger beson-
ificirender Einfluſs daher besondere
Endlich darf man theoretisch an-
indung um so viel stärker seyn wird,
er mit einander verbinden, und je
Alle diese aus der aufgestellten
upassenden Theorie folgenden Sätze
bestätigt, es ist aber sehr natür-
änomene, welche zu dieser Classe
schiedenheiten zeigen müssen, die
n des allgemeinen Erklärungsprin-
ı mit demselben im Widerspruch
solcher Widerspruch nirgend vor-
gliche Beachtung, sobald es sich
der Theorie handelt; inzwischen
ıchung zeigen, daſs dieses keines-
der Aufgabe sey, da es vielmehr
losen Phänomene nach ihren Ei-
: Classen zu ordnen und die zu-
vereinigen. Man könnte auch
eim Gestehn, Gefrieren und Kry-
u dieser Classe rechnen, da aber
Abschnitte die Rede seyn wird, so
angen werden.

Körper oder ihre Partikeln eine
ohne gleichzeitige Trennung ein-
ezeit durch die Wirkung der At-
liese aber in denjenigen Fällen
entstandene Verbindung so genau
ähnliche und gleichartig wirkende
kann. Da aber der Scharfsinn
e Grenze zwischen sogenannten
Verbindungen bis jetzt kaum oder
ımen vermochte, so wird dieser

Unterschied hier billig vernachlässigt und allgemein von den Wärmephänomenen bei Verbindungen gehandelt, ja man darf wohl unbedenklich, eine scharfe Grenze als nicht existirend vorausgesetzt, sobald nur die Molecüle oder die kleinsten Partikeln der Körper, nicht aber gröſsere Theile oder Massen derselben sich verbinden, alle diese Erscheinungen der Kürze halber unter den gemeinsamen Ausdruck der *Wärmeerzeugung durch Chemismus* zusammenfassen.

118) Eine Reihe höchst merkwürdiger Versuche über die Erzeugung der Wärme durch das Eindringen von Flüssigkeiten in lockere Körper der verschiedensten Art hat Pouillet[1] bekannt gemacht. Er bediente sich hierzu sehr feiner Thermometer, welche die geringsten Wärmeveränderungen angaben, doch erhielt er zuweilen Temperaturerhöhungen von 6° bis 7°, ja sogar bis 10° C. Der Erfolg findet statt bei der Aufnahme von Wasser, Alkohol, den verschiedenen Oelen, Essigäther u. s. w., doch geben nicht alle lockere Körper mit allen Flüssigkeiten gleich groſse Wärmemengen, dagegen aber läſst sich behaupten, daſs alle Körper durch Flüssigkeiten, die leicht in sie eindringen, eine Erhöhung der Temperatur erfahren. Mit gepulverten Metallen, Metalloxyden und Mineralien der verschiedensten Art, ebenso mit organischen Körpern, als Holz, Rinden, Wurzeln, Früchten, verschiedenartigen Körnern, Schwamm, Seide, Haaren, Wolle, Elfenbein, Sehnen, Membranen u. s. w., welche alle Wasser in sich aufnehmen, hat er die Versuche angestellt, und dabei zugleich noch die Erfahrung gemacht, daſs die organischen Körper mehr erwärmt werden, als die unorganischen, was er sehr richtig als eine Folge gröſserer Feinheit ihrer Theilchen betrachtet. Auffallender ist dagegen, daſs die nämlichen Körper, z. B. Sehnen, ungefähr ebenso viel Wärme entwickeln, sie mögen Wasser, Oel, Alkohol oder Essigäther verschlucken. Nach diesen Resultaten ist wohl nicht zu bezweifeln, daſs die schon früher durch Faraday[2] wahrgenommenen Erscheinungen gleichfalls unter diese Classe gehören. Er hielt eine Thermometerkugel in Wasserdämpfe, worin sie bleibend 100° C. zeigte; streuete

1 Annales de Chim. et Phys. T. XX. p. 141. Bulletin des Sciences 1822. G. LXXIII. 336.

2 Annales de Chimie. T. XX. p. 329.

Salmiak auf die Kugel, so stieg
C., und eine gleiche Vermehrung
in Leinen oder Flanell gehüllt war,
ne Salze, Alkalien, Zucker u. s. w.
:.

;en einer bedeutenden Wärmeer-
in Folge der Aufnahme von Was-
:iten, insbesondere von Säuren,
Zeiten, ohne sie jedoch aus der
ı Ursache abzuleiten. Vor allen
Erhitzung des gebrannten Kalkes
ım Glühen steigt, so daſs sie Ent-
›ewirkt[1]. Wenn man nach einer
0,5 Unze gebrannten salinischen
t einem feinen Wasserstrahle be-
Erglühn der Masse. Ehemals lei-
tsame Weise davon ab, daſs der
sich aufnehme und dieses durch
und brachte überhaupt dieses Phäno-
Phlogistons in Verbindung, allein
der begierigen Verschluckung des
Brennen sein Krystallwasser ver-
ıge in ihm vorhanden ist, daſs es
entweichenden Kohlensäure nahe
;t. Benetzt man den gebrannten
noch besser mit Schwefelsäure, so
ärker, weil die Anziehung zu die-
. Frisch geglühte Magnesia mit
zeigt sogleich glühende Stellen;
ıre aufgenommen, so wird diese
uch geräth weniger gut oder gar
eine merkwürdige Erscheinung zu
ıus[3] wahrgenommen hat. Wenn
nzsauren Metallen, z. B. die von
ıd Manganoxyd, erhitzt, so geben
r her, dann aber, wenn sie zum

richt. Th. XI. S. 122.
LVIII. S. 288.

vollen Rothglühn oder anfangenden Weifsglühn gekommer sind, entzünden sie sich, und verglimmen mit grofser Lebhaftigkeit während einer oder einiger weniger Secunden. Da di Metalle dann schon auf der höchsten Stufe der Oxydation waren und die Erscheinung auch ohne Zutritt der Luft sich zeigt so kann sie nicht als ein Verbrennen betrachtet werden, un kann also nicht wohl für etwas anderes, als eine Folge de Wärmeentwickelung durch Verdichtung gelten, was dadurc wahrscheinlich wird, dafs die Metallsalze an Gewicht wede zunehmen noch abnehmen, wohl aber ihre Farbe fast gänzlic verlieren und in Säuren so gut wie unlöslich sind, statt daf sie vorher mit Hinterlassung von Spiefsglanzsäure leicht zerlegt werden.

120) Werden Flüssigkeiten, die sich leicht und innig verbinden, mit einander gemischt, so erleiden sie im Ganzen ein Verminderung ihres Volumens und entbinden Wärme, wie be Weingeist und Wasser, Säuren und Wasser, Oelen und Säuren u. s. w. der Fall ist, wobei um so gröfsere Wärme fre wird, je energischer, bis zur eigentlichen chemischen Umwandlung, sie sich verbinden. Eigentliche Versuche hierüber sin vorzüglich mit Weingeist und Wasser angestellt worden, zuers wohl durch G. G. Schmidt[1] in der Absicht, um das Verhältnif der Verdichtung zur Menge der frei werdenden Wärme auszumitteln. Die Resultate seiner Versuche sind in folgende Tabelle enthalten, worin D und d die beobachteten und di berechneten Dichtigkeiten Δd die in Tausendsteln ausgedrückten Aenderungen der Dichtigkeiten, und Δt die Erhöhunge der Temperatur in Centesimalgraden bezeichnen; das spec. Gewicht des Weingeistes war 0,8894.

Weingeist	Wasser	D	d	Δd	Δt
4 Theile	1 Theil	0,9195	0,9095	10,9	3°,62
3 —	1 —	0,9280	0,9147	14,3	3,75
2 —	1 —	0,9380	0,9234	15,6	5,00
1 —	1 —	0,9570	0,9414	16,3	6,25
1 —	2 —	0,9720	0,9602	12,1	6,00
1 —	3 —	0,9785	0,9698	8,4	5,31
1 —	4 —	0,9820	0,9757	6,4	4,70
1 —	5 —	0,9860	0,9797	6,4	4,00

1 Gren N. Journ. Th. I. S. 192.

eiten geschah vor und nach der Temperatur von 15° R. und die Mischung ohne Aenderung des , wurde nach der Formel

$$= \frac{(M + m) D d}{d M + D m}$$

e Massen, D und d die Dichtig- hieraus, dafs die Zunahme der gleichen Mengen ist und dann at, allein hierauf ist keine all- n, weil der gebrauchte Alkohol n diesen Mischungen fand aber eit statt, und hierin könnte also lung gesucht werden.

von Thillaye[1] führten zu Re- ıdes zu haben scheinen, doch ist viel weniger absolutem Alko- ɔben erwähnten. Bei der ersten Gewicht des Alkohol 0,9544 bei der eben gebrauchten Bezeich- dafs Δd nicht in Tausendsteln Gröfsen gefunden.

D	d	Δd
0,9598	0,9590	+ 8
0,9646	0,9635	11
0,9690	0,9681	9
0,9731	0,9725	6
0,9768	0,9772	— 4
0,9807	0,9818	11
0,9850	0,9863	13
0,9890	0,9904	14
0,9943	0,9954	11

hsreihe war das spec. Gewicht ie Resultate folgende:

XXIX. G. XLVI. 194.

Weingeist	Wasser	D	d	Δd
9 Theile	1 Theile	0,9648	0,9640	+ 8
8 —	2 —	0,9689	0,9680	9
7 —	3 —	0,9724	0,9720	4
6 —	4 —	0,9760	0,9760	0
5 —	5 —	0,9792	0,9800	— 8
4 —	6 —	0,9828	0,9840	12
3 —	7 —	0,9867	0,9880	13
2 —	8 —	0,9907	0,9920	13
1 —	9 —	0,9950	0,9960	10

Das Auffallende hierbei ist, dafs mit der Zunahme der Menge des Wassers Raumvermehrung statt Verminderung eintrat, und zwar früher, wenn der Weingeist minder rein war, ja in andern Versuchen mit Alkohol von 0,9688 und 0,9750 spec. Gewichte fand gar keine Verdichtung, sondern blofs Raumvermehrung statt. Genau genommen steht dieses mit den durch G. G. Schmidt erhaltenen Resultaten nicht im absoluten Widerstreite, denn auch in dessen Versuchen nahm die Vermehrung der Dichtigkeit ab, wenn mehr Wasser und weniger Alkohol vereinigt wurden, und zwar in einer starken Progression, so dafs sich ein Uebergang zum Negativen denken läfst. Auffallende dagegen ist, dafs selbst bei Vergröfserung des Volumens dennoch Wärme entbunden worden seyn soll, weswegen auch die Richtigkeit dieses Resultates mehrseitig in Zweifel gezogen wurde.

122) Neuerdings ist aber dieser Zweifel durch Rudberg beseitigt worden, welcher diesen Gegenstand mit der ihm eigenthümlichen Schärfe und Genauigkeit behandelt hat. Seine eigene Versuche wurden mit Alkohol von 0,83991 spec. Gewicht bei 15° C. angestellt und gaben folgende Resultate.

Versuche	Wasser	Alkohol	spec. Gew. d. Mischung	Contraction
1	36,253	136,860	0,88783	1,648
2	41,907	133,674	0,89413	1,823
3	45,070	130,205	0,89795	1,916
4	49,525	126,573	0,90314	2,056
5	55,271	124,267	0,90845	2,166
6	59,574	114,761	0,91511	2,291
7	62,137	110,138	0,91907	2,387
8	66,832	105,923	0,92375	2,430
9	72,812	102,821	0,92895	2,501
10	76,336	97,970	0,93309	2,536
11	80,217	93,832	0,93713	2,566
12	82,358	85,877	0,94187	2,569
13	91,697	80,531	0,94882	2,560
14	99,111	76,693	0,95319	2,477

1 Poggendorff's Ann. XIII. 496.

Alkohol erhaltenen Contractionen
ıen, welche absoluter geben würde.
ı gemischten Alkohols aus einem
= v und einem Volumen Wasser
'olumen Wasser = V gesetzt und
ischung U, so findet man die be-

$$\left(\frac{u + V}{U} - 1\right).$$

C der Mischung ist aber

$$\frac{+ w + V}{U} - 1\Big),$$

lkohol schon statt gefundene Con-

$$\left(\frac{v + w}{u} - 1\right),$$

$$+ c \frac{u}{U}.$$

ischung zu finden, mögen p und
olutem Alkohol in der Mischung
nten Weingeist bezeichnen[1], und

$$= P \frac{u}{U}.$$

die Contraction c = 2,120 und
und hiermit erhält man in der

$$\text{und } p = 88{,}30 \frac{u}{U}.$$

an aus den durch die genannten
folgende Procente und Contractio-

ch aus der im Art. *Gewicht* Bd. IV.

Versuche	Procente	Contractionen
1	70,96	3,351
2	68,45	3,466
3	66,85	3,521
4	64,77	3,601
5	62,44	3,665
6	59,46	3,718
7	57,80	3,774
8	55,45	3,761
9	52,98	3,773
10	50,89	3,758
11	48,82	3,738
12	46,23	3,679
13	42,34	3,576
14	39,47	3,424

Man sieht hieraus, daſs die Contractionen mit den Procenten des Alkohols erst wachsen und dann wieder abnehmen. Um das hierbei zum Grunde liegende Gesetz genauer aufzufinden, wählt Rudberg die auch anderweitig angewandte Gleichung zwischen den Contractionen c und den Procenten p, wonach

$$c = A + Bp + Cp^2 + Dp^3 + \dots$$

gesetzt wird. Für die Coefficienten wählt er die Versuche 1, 5, 10, 14 und erhält hieraus die Gleichung

$$c = -17,427 + 22,1751\,p - 2,5381\,p^2 + 0,059865\,p^3,$$

aus welcher zur Bestimmung des Maximums

$$\partial c = 22,1751\,\partial p - 5,0762\,\partial p^2 + 0,17959\,\partial p^3,$$

$$\text{und für } \frac{\partial c}{\partial p} = 0$$

$$0 = 22,1751 - 5,0762\,p + 0,17959\,p^2$$

wird. Die eine Wurzel dieser Gleichung ist 5,40 und giebt c = 37,75. Die gröſste Zusammenziehung liegt hiernach bei 54,00 Procent und beträgt 3,775, oder 103,775 haben sich zu 100 zusammengezogen. Rudberg meint, das Maximum der Zusammenziehung finde bei einem gewissen einfachen Verhältnisse des Sauerstoffgehaltes beider Flüssigkeiten statt, indem schon Ure gezeigt habe, daſs bei den Mischungen von Schwefelsäure mit Wasser die gröſste Contraction bei der Gleichheit der Sauerstoffmengen beider Flüssigkeiten eintrete. Sollte dieses allgemein der Fall seyn, so wäre es allerdings ein beachtenswerther Umstand. Der Alkohol enthält nach dem Gewichte 34,454 Procente Sauerstoff; die 54 Volumenprocente oder 42, 913 —

halten also 14,785 und die 49,77
8 Procente Sauerstoff, welches letz-
s ersteren ist. Die gröfste Zusam-
hen 3 Atomen Wasser und 1 Atom
he Mischung enthält 49,836 Volu-
9 Volumentheile absoluten Alkohol.
iehung gilt für 15° C. und nimmt
; denn nach TRALLES ist die Con-
17°,5 = 3,60, bei 37°,7 = 3,31,
menhängt, dafs bei niedrigern Tem-
ander näher liegen und daher die
Die von THILLAYE beobachtete
einfach erklärlich. Der von ihm
bei 15° ein spec. Gew. = 0,9544
er schon eine totale Contraction von
. Heifst diese C, die beobachtete e,
geistes u, das der Mischung U,

$$- 3{,}35 \frac{u}{U}.$$

gemachten Mischungen nach die-
hält man

Alkohol	e
) Theile	+ 0,11
} —	+ 0,10
' —	+ 0,09
) —	+ 0,02
) —	— 0,04
l —	— 0,09
} —	— 0,14
! —	— 0,19
l —	— 0,10

r angegebenen Versuche erhellet.
erung der Dichtigkeit freiwerdende
e seyn.
die grofse Hitze, welche bei der
entlich der Schwefelsäure, mit Was-
CHMIDT[1] hat auch hierüber Ver-
tate folgende Tabelle zeigt, worin

die oberen Bezeichnungen beibehalten sind. Das spec. Gewic des nordhäuser Vitriolöls war 1,866, der rauchenden Salpete säure 1,428 und der concentrirten Salzsäure 1,181.

Vitriolöl	Wasser	D	d	Δd	Δt
1 Theil	15 Theile	1,043	1,030	12,4	13°,75
1 —	3 —	1,183	1,131	43,9	68,75
1 —	1 —	1,412	1,302	77,9	93,75
3 —	1 —	1,622	1,534	54,3	100,00
Salps.					
3 —	1 —	1,336	1,289	35,2	23,75
1 —	3 —	1,084	1,064	18,7	11,25
Salzs.					
3 —	1 —	1,132	1,130	1,8	11,25
1 —	3 —	1,042	1,040	1,9	7,50

Man ersieht hieraus, namentlich bei der Schwefelsäure, starke Erhitzung, welche zu den Quantitäten des Wassers umgekehrten Verhältnisse steht, weswegen die bekannte Re gilt, daſs man stets die Säure zum Wasser, nie aber umgeke schütten muſs, weil sonst ein Theil des durch mechanis Gewalt niederfallenden Wassers in Dampf verwandelt die Sä emporschleudert. Hess[1] fand durch eine Reihe von Versuch daſs die Wärmeentbindung hierbei nach bestimmten Verhä nissen erfolgt. Dabei bediente er sich der Schwefelsäure, von 1 bis 6 Atome Wasser auf 1 Atom Säure enthielt, v mischte sie mit einem Ueberschuſs Wasser, führte die da entwickelten Wärmemengen auf gleiche Mengen wasserfre Säure zurück, und fand, daſs die dabei entwickelten Wärm mengen nahe genau Multipla in ganzen Zahlen waren.

Auf 1 At. wasserf. S. entwickelt	gefunden	berechnet	Multipl.	Unterschied
$\dot{H}^6\dddot{S}$	43,8	43,8	2	
$\dot{H}^4\dddot{S}$	67,2	65,7	3	1
$\dot{H}^3\dddot{S}$	93,5	87,6	4	1
$\dot{H}^2\dddot{S}$	132,6	131,4	6	2
$\dot{H}^1\dddot{S}$	222,5	217,8	10	4

Es liegt in der Natur der Sache, daſs das erste Atom Was stärker als das zweite u. s. w. angezogen wird, und die g fundenen Gröſsen zeigen, daſs die entwickelte Wärmemen desto gröſser ist, je innigere Verbindung statt findet.

1 Poggendorff's Ann. XLVII. 210.

124) Eine der auffallendsten Erscheinungen von Wärme-
indung bei der Mischung verschiedenartiger Flüssigkeiten
t die Verbindung von Schwefelsäure mit rauchender Sal-
iure, wenn man sie zu Terpentinöl schüttet. Schon die
Säure allein giebt mit ätherischen und fetten Oelen ver-
ke Hitze mit Aufbrausen, einen interessanten und diese
Wärmeerzeugung auffallend zeigenden Versuch kann
anstellen, wenn man ungefähr gleiche Theile con-
Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure zusam-
die sich hierbei gleichfalls erhitzen, und dann diese
eine ungefähr gleiche Menge Terpentinöl schüttet,
sogleich zu einer hellen Flamme mit dickem,
auche entzündet. Auch die rauchende Salpeter-
en meisten ätherischen Oelen vereint, bringt für
e lebhafte Entzündung hervor, ein Phänomen,
Borrichius[1] beim Terpentinöle zuerst wahr-
lere aber, z. B. Slare[2], Beaumé[3] und Proust[4],
ohne Erfolg wiederholten, bis Dippel, Hoff-
froy[5] auffanden, daſs der Versuch jederzeit
n eine Mischung von Salpetersäure und Schwe-
Diese Erscheinung ist das, was man Ver-
d es unterliegt keinem Zweifel, daſs alle hierzu
e unter diese allgemeine Classe zu bringen
wir daher zuvor näher betrachten, ehe wir
erörtern, ob Wärmeentbindung auch bei
tt finden könne.

festgestellt werden, was man unter Ver-
kann man sagen: Verbrennen heiſst jede
oder Trennung der Körper, die mit Aus-
und Wärme verbunden ist. Hiernach
brennungen unter die allgemeine Classe
bei denen Wärme durch Chemismus
nauerer Beschränkung muſs aber nicht
zugleich auch ein mehr oder minder

los. Hafniensium. 1671. p. 133.
N. 213. T. XVIII. p. 200.
p. 340.
T. XIII. p. 432.
e l'Acad. 1747. p. 34.

starkes Leuchten dabei zum Vorschein kommen. Da in d
Natur überall keine scharfe Begrenzung statt findet, so geh
auch die unter diese Classe gehörigen Phänomene in diejenig
nahe liegenden verwandten über, bei denen ein hoher Grad v
Wärme in Folge chemischer Verbindung frei wird, wie m
denn auch nicht ganz mit Unrecht die Entwickelung der thi
rischen Wärme ein langsames Verbrennen genannt hat; c
Uebersicht des Ganzen wird aber durch die gewählte Feststε
lung des Begriffes ausnehmend erleichtert. Um aber die zah
losen Phänomene des Verbrennens noch leichter zu überseh
wollen wir auch diese unter verschiedene Abtheilungen ordn

a) Selbstzündungen.

126) Werden Körper mit einander vereint, welche d
Bedingungen des Verbrennens in sich enthalten, und wirken s
mit grofser Energie auf einander, so erfolgt ihre Entzündu
und nachherige Verbrennung von selbst. Hierher gehört d
alte Versuch von Lemery[1], welcher von Beaumé und Ande
wiederholt wurde, hauptsächlich weil man die Erscheinung
der feuerspeienden Berge durchaus erklären wollte. Inzwisch
zeigt sich dieses eigenthümliche, zur Classe der Verbrennung
zu rechnende, Phänomen nicht blofs bei der Vereinigung d
Schwefels mit Eisen, sondern auch mit andern Metallen[2], n
mentlich mit Kupfer. Letzteren Versuch haben Pfaff u
Lentin wiederholt[3]. Sie nahmen 15 Gran Schwefel und 4
Gran Kupferfeilicht, thaten das Gemenge in eine Glasröhre u
erhitzten diese, wobei die Masse zuerst zusammensinterte, da
sich aufblähete, und zuletzt unter Entwickelung einiger Dä
pfe in lebhaftes Glühen, jedoch ohne Flamme, gerieth. M
Zink ist die Wirkung noch gröfser und bei minderer Vorsic
mit einer leicht gefährlichen Explosion verbunden[4]. Eben die
ses ist leicht der Fall bei der bekannten Reduction des Queck
silbers durch Eisen, wo die Explosion leicht im Augenblick
des Ueberganges des Schwefels an das Eisen eintritt, auc

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1700. Vergl. *Vulcan.* Bd. I
S. 2278.

2 Van Mons in Gren's Journ. d. Phys. Th. VIII. S. 19.

3 Ebendaselbst S. 280.

4 Recherches physico-chimiques par MM. Deiman cet. Mén
III. Amst. 1794. V. Crell chem. Ann. St. XI. S. 383. St. XII. S. 532.

hm Gehlen[1] beim Uebertritt des Arseniks an Platin plötzli-
Entbindung von leuchtender Glühhitze wahr. Wenn man
nik im feuchten Zustande pulvert, so wird es beim Zutritt
uft langsam heifs und entzündet sich zuletzt[2], ein Phä-
, welches sich dem eigentlichen Verbrennen durch Sauer-
reihen läfst. Eine sehr alte Erfahrung ist die von
Higgins[3], dafs feuchtes salpetersaures Kupfer etwas
t und in ein Stanniolblättchen gewickelt, dann etwas
ine Entzündung bewirkt, wobei Funken umherspü-
Erscheinung läfst sich auffallender, aber nicht wis-
h interessanter machen, wenn man kleine Bröckchen
imengt, auch theilt sich die Entzündung leicht ver-
Körpern, als Sägemehl u. s. w., mit, wenn man
n darunter legt; die Anwesenheit von Feuchtigkeit
endige Bedingung[4].
leich häufiger sind die von selbst sich entzün-
gen, in denen sich Bestandtheile aus dem Thier-
che befinden[5]. Schon im J. 1764 ergab sich,
rg mehrmals Feuer da entstand, wo sich mit
nd dann fest gepackter Hanf befunden hatte,
dman[6] ein Beispiel, dafs mit Leinöl getränktes
ich binnen 3 Stunden entzündete. Die Auf-
liesen Gegenstand wurde aber vorzugsweise
auf einer Insel in der Neva gelegenen, blofs
ll erbaueten Magazine zur Nachtzeit Feuer
t niemand darin befindlich war und keine
tigkeit Ursache seyn konnte. Man ver-
nöl genäfster und eingewickelter Hanf sich
so mehr, als im J. 1781 der Brand auf
indeln einer Hängmatte, worin Kienrufs
chen befindlich war, abgeleitet wurde[7].
veranlafste im J. 1757 das Entzünden der

h d. Chemie. Th. I. S. 1425.
e. 1827. Sept. p. 433.
XIII, P. I. p. 137. Journ. de Phys. T. XIII.

um. Th. XLI. S. 430.
Mém. de Turin. T. III. p. 478.
XXXIV. p. 426.
XX. p. 3 ff.

Segel im Arsenale zu Brest[1], die öftere Wiederkehr solcl Fälle zu Petersburg veranlafste aber eine nähere Untersuchu der Sache durch Czernischef[2], wobei sich zeigte, dafs 40 Kienrufs, auf welchem eine Stunde lang 35 ℔. Hanfölfirn gestanden hatten, nach dem Abgiefsen des Oelfirnisses in ei Hängmatte eingewickelt, nach 19 Stunden Rauch und Feu entwickelten, welches nach dem Oeffnen einer Thür sofort lichte Flammen ausbrach. Aus den fortgesetzten Untersuchu gen von Georgi[3] ergiebt sich, dafs der russische gröbere, sa tere und schwerere Malerrufs mit fetten trocknenden Oel etwa 5 Stunden lang getränkt, dann in Leinwand eingewicke bei trocknem Wetter sich binnen 16 Stunden unfehlbar en zündet, wogegen bei nasser Witterung die schon begonne Erhitzung wenigstens wieder aufhört. Hanf mit Hanföl u Unschlitt begossen, dann eine Stunde im Backofen getrockn und in eine erwärmte Bastmatte gewickelt, wurde in ein Stunde warm und entzündete sich nach drei Stunden. Eben verhielt sich Schafwolle und sogar ein alter wollener Rock u ein Pack Kuhhaare, als sie auf gleiche Weise behandelt ware Georgi's Versuche erstrecken sich noch ferner auf eine Men anderer Substanzen, indem er fand, dafs Kleie, Mehl, Grütz Reis, Erbsen, Bohnen, Kaffee, Sägespähne und sonstige veg tabilische Substanzen, wenn sie geröstet und noch warm Leinwand fest eingewickelt sind, sich bald erhitzen und en zünden[4]. Fest zusammengelegte Packete gefirnifsten Taffen gerathen leicht in Brand, auch wird dieses von seidenen Strün pfen angegeben[5], am bekanntesten aber ist die Selbstentzündu des feucht zusammengeballten Strohes, Heues, des Düngers u sonstiger vegetabilischer und thierischer Substanzen, wenn s in grofsen Massen aufgehäuft sind, indem der vorhandene Koh lenstoff um so leichter, wenn dieser Procefs durch vorausge gangenes Rösten eingeleitet ist, das Wasser zersetzt und de Sauerstoff desselben aufnimmt, wobei dann die erzeugte Wärn zuletzt bis zur Entzündung steigt, weil sie nicht entweich

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1760.
2 Acta Acad. Petrop. T. III. P. I. p. 311.
3 Neue nordische Beiträge. Th. III. S. 37. Th. IV. S. 309.
4 Vergl. Buchholz in v. Crell chem. Ann. 1784. Th. I. S. 411. 4
5 Aus American medic. Repository. T. V. in Biblioth. Brit. XXVI. p. 331.

:suche erhaltene und gelegentlich
über haben CARETTE[1], PROUST[2]
auch kommen stets noch neue Er-
lche aber nur dann bekannt gemacht
besondere Umstände auszeichnen.
Entzündung der Steinkohlen, wenn
nd Feuchtigkeit Zutritt zu ihnen
einung im Ganzen genommen zu
n dagegen erregte die Beobach-
te *pyritösen Torfs*, welcher als
minder compacte, von Eisen und
e im Aisne-Departement gelagert
ler Luft entzündet und beim Ver-
isen bildet[5]. Schätzbare Beiträge
r hat SOMMER[6] geliefert, die sich
ng beziehen, inwiefern die Son-
eigneten Substanzen eine bis zur
zu erzeugen, da vielfache Erfah-
sen und trocknen Jahren Feuers-
vorzukommen pflegen, wobei auf
als mitwirkend zu betrachten ist.
e der Umstand, dafs zu Königs-
am 2. Juli sich das Moos und
en hatten, und am 4. Juli an ei-
ohne Verdacht von Bosheit oder
wie dieses auch im J. 1814 bei
bei den Kleidern der Oelmesser
it Oel getränkt und zusammenge-
er erhitzte daher mit Oel getränkte
nem Dache bis zu 65° C., wickelte

ov. 1785. Août.
Suppl. p. 432.
rn. Th. XXXV. S. 213.
erden erzählt in Silliman Amer. Journ.
: entzündete sich eine grofse Menge
Zutritt der freien Luft. S. DUHAMEL in

Phys. T. LI. p. 292. T. LIII. p. 1. T.
IV. 469.

beides fest zusammen, legte es in Stroh, welches gleichfalls der Sonnenhitze ausgesetzt gewesen war, und bedeckte das Ganze, in einem Kessel befindlich, mit einem Federkissen. Ungeachtet im Versuchszimmer die Wärme nur 25° C. betrug, erhitzte sich die Masse im Innern bedeutend, verbreitete einen brenzlichen Geruch, war am folgenden Tage im Innern verkohlt und brannte nach Wegnahme des Kissens mit heller Flamme. Auf ähnliche Weise mit Oel befeuchtete Sägespähne, in einem kattunenen Sacke mit einer wollenen Decke und Stroh umgeben nachdem dieses alles bis 44° C. in der Sonne erhitzt, zusammengeballet, in einen Kessel gelegt und mit einem Federkissen bedeckt worden war, geriethen in Brand und loderten nach Wegnahme des zum Theil verkohlten Kissens mit Flamme auf. Als dieses Pack mit Wasser gelöscht, dann aber auf eine trockne Stelle im Garten geworfen worden und bei 24° Temperatur der Luft der Mittagssonne ausgesetzt gewesen war, entzündete es sich abermals, woraus also die Möglichkeit solcher Selbstzündungen augenfällig hervorgeht.

128) Selbstzünder sind nirgend gefährlicher als in Pulverfabriken, und es war daher eine wichtige Frage, ob Kohlen, deren man zum Schiefspulver in beträchtlicher Menge bedarf, so aufbewahrt, wie dieses für den gegebenen Zweck zu geschehen pflegt, sich freiwillig entzünden, um zugleich die Mittel kennen zu lernen, wodurch dieses verhütet wird. Veranlassung zur näheren Untersuchung der Sache gab die im Jahre 1799 in der Pulverfabrik zu Essanne beobachtete, durch Robin[1] beschriebene Selbstentzündung des Kohlenpulvers im Beutelkasten, als dieser geöffnet wurde. Zum Schiefspulver nimmt man bekanntlich nur Kohlen von weichem Holze, namentlich vom Faulbaum, und von dieser Art war auch das Kohlenpulver, welches im genannten Falle sich entzündete und selbst durch zugegossenes Wasser nicht gelöscht wurde, bis es mit einem Besen untergetaucht war. B. G. Sage[2] meint, das Aufsaugen der feuchten Luft gebe Veranlassung zu der Erhitzung, wodurch dann eine Zersetzung des Wassers und nachfolgende Entzündung herbeigeführt werde; auch erzählt er von Fällen, in denen sich aufgeschüttete grofse Massen von Kohlen von selbst

1 Ann. de Chim. T. XXXV. p. 93.
2 Journ. de Phys. 1807. p. 423. G. XXIX. 93.

findeten. Die genauesten Untersuchungen über diesen Ge-
tand hat AUBERT[1] angestellt. Hiernach nimmt die mittelst
elkugeln sehr fein zerriebene Kohle, welche das Aussehen
ickflüssigen Flüssigkeit hat, einen dreimal kleineren Raum
s in Stangen von 15 bis 16 Centim. Länge, absorbirt
Luft und erhöht dadurch ihre Wärme bis 170° oder
Hierdurch wird die Entzündung bewirkt, welche in
ungefähr 12 bis 15 Centim. unter der Oberfläche
nd in der geringen Leitungsfähigkeit der Umgebung
ndes Beförderungsmittel findet. Es muſs nothwen-
rölsere Masse vorhanden seyn, denn die schwarze,
rte Kohle, die sich am leichtesten entzündet, muſs
0 Kilogramm betragen, wenn eine Entzündung
oll, die um so leichter entsteht, je kürzere Zeit
ohlung und Zerreibung verflieſst, weil sonst in
wischenzeit schon feuchte Luft absorbirt wird;
itt der Luft überhaupt und zur Oberfläche der
dere ist nothwendige Bedingung. Der Zusatz
nd Salpeter hebt die Fähigkeit der Selbstent-
h ist es rathsam, dieses Gemenge nicht in zu
en aufzubewahren, weil die Luftabsorption
ert, die demnach dennoch eine Entzündung
te. Genau hiermit übereinstimmend sind die
e Resultate der Versuche, welche WILLIAM
t hat. Aus seiner 25jährigen Praxis in der
en führt er einige entscheidende Erfahrun-
Kohlen gewiſs nicht durch rückbleibendes
n gleichfalls sich ereignet, sondern durch
hende Erhitzung sich entzündeten, wobei
inlich der Umstand mitwirkte, daſs die
ilweise zu Pulver zerrieben waren. Nach
ten sich oberflächlich pulverisirte Koh-
täten jederzeit, aber nicht bis zur Tem-
Vassers. Als aber gröſsere Haufen fein
häuft lagen, entstand Entzündung nahe
nd bei einem Versuche trat diese ein,

Phys. T. XLV. p. 73. Poggendorff's Ann.
hilos. Mag. and Ann. N. S. T. IX. p. 148.
Philos. Mag. N. XIII, p. 1.

obgleich die ganze Masse mehrere Tage hindurch in einzeln Haufen der Luft ausgesetzt gelegen hatte; einige Tage na dem Auslöschen des brennenden Theiles durch Wasser entstar abermals Entzündung in dem nämlichen Haufen[1]. Hadfiel sperrte Kohlenpulver unter Sauerstoffgas ab, fand aber keir Absorption dieser Gasart und Erzeugung von Kohlensäure.

129) Unter die sich selbst entzündenden Körper gehöre unzweifelhaft vorzugsweise die so genannten *Selbstzünder* od *Pyrophore.* Da hierüber schon in einem eigenen Artikel[2] ge handelt und darin die Ursache des Entzündens angegeben worden is so wird es genügen, hier nur noch einige praktische Bemer kungen hinzuzufügen. Der gebräuchlichste Pyrophor, den ma gewöhnlich zu bereiten pflegt, der sogenannte *Homberg'sch* besteht dem Gewichte nach aus gleichen Theilen gebrannter Alaun, kohlensäuerlichem Kali (gereinigte Pottasche in nich feuchtem Zustande) und Kienrufs. Um ihn zu verfertigen, er hitzt man Alaunkrystalle in einem geeigneten metallenen Ge fäfse, in Ermangelung eines andern auf einer Ofenschaufel Der Alaun blähet sich stark auf, das Wasser entweicht i Dampfform und man erhält zuletzt eine weifse, trockne, leich zerreibliche Masse, welche man in ein gehörig feines Pulve verwandelt und mit dem abgewogenen Kali und dem Kienruf hinlänglich mengt. Am besten füllt man ein Medicinglas[3] vo dünnem Glase, etwa 2 bis 3 Zoll hoch und 1 bis 1,5 Zol weit, mit diesem Pulver zu $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ voll, setzt dieses in einen Schmelztiegel und umgiebt es mit trocknem Sande bis zu Mündung, setzt diesen Tiegel in einen Windofen und bring ihn allmälig zum Glühen, welches man eine gehörige Zeit unterhalten mufs. Geschähe dieses allzulange, so würde die enthaltene Kohle gänzlich verbrennen und das Product unbrauchba seyn, doch ist dieses nicht leicht zu fürchten; meistens ist man geneigt, es zu früh zu unterbrechen, in welchem Falle der Pyrophor sich nicht entzündet. Meistens steigt anfangs etwas Rauch aus der Mündung des Glases, verschwindet aber, wenn das Glühen vollständig statt findet. Von dieser Zeit an mufs man

1 Ueber die Entzündung der Kohle durch Reiben ist oben §. 101 geredet worden, da diese Erscheinung einer andern Classe zugehört.

2 S. Art. *Pyrophor.* Bd. VII. S. 1014.

3 Fürchtet man das Zerspringen des Glases, so thut auch ein kleiner irdener Krug gute Dienste.

hten, ob eine kurze hellbläuliche Flamme aus der Oeffnung Glases aufsteigt, deren Beginnen man wahrnimmt, wenn etwas bläst oder einen brennenden Spahn der Oeffnung ; das Flämmchen erlischt zuweilen und entzündet sich von selbst mit einer geringen, kaum hörbaren Explo- f jeden Fall kann man es 5 bis 10 Minuten brennen Alsdann mufs ein vorher eingepafster Kreidestöpsel n, womit man die Oeffnung des Glases verschliefst; nt die Kohlen, nimmt den Tiegel heraus, setzt ihn ung des Springens an einem trocknen Orte auf einen wenn er genügend erkaltet ist, steckt man statt des ls einen Korkstöpsel auf, den man später gehörig und mit Wachs oder Pech übergiefst, wenn man länger aufheben will, da dieses ein und mehrere n kann. Ein gut gerathener Pyrophor entzün- beim Ausschütten in der Luft, auf jeden Fall Holz liegend beim Zutritte der feuchten Luft, ollständig zu Asche.

ERG[1] nahm zufällig die Entzündung dieses ten Pyrophors wahr, als er Menschenkoth mit te, und LEMERY[2] fand nachher, dafs alle viel ende Körper, als Honig, Mehl, Zucker u. s. w., n, so wie SAVIGNY[3] nachwies, dafs man felsaure Salze, als Glaubersalz oder schwe- nehmen könne. SCHEELE und BERGMANN Untersuchungen zu dem richtigen Resul- dabei eine wichtige Rolle spielt und man i, 0,25 Schwefel und ⅓ Kohlenstaub einen ne. Nach SILLIMAN[5] geben 3 Th. Lam- rter Alaun und 8 Th. Perlasche, gemengt , mit einem Kreidestöpsel verstopften, lühen erhitzt, einen Pyrophor, welcher bst entzündet, sondern mit einem eiser- zuweilen eine Explosion, wie Schiefs-

D. u. 1711.
a. 1715.
III.
en 1786. Bd. I. Journ. de Phys. T. XXIX. p. 330.
... X. p. 367.

Aufser diesen sämmtlich auf fast gleichmäfsige Weise bebereiteten Pyrophoren giebt es aber noch eine Menge Selbstzünder, deren Bekanntwerdung das Feld der Untersuchung dieser Entzündungen bedeutend erweitert hat[1]. Die älteren zum Theil falschen, zum Theil ungenügenden Erklärungen, z. B. von Scheele, Bergmann, Lemery, Wiegleb, Göttling und Anderen, beziehen sich zunächst nur auf den beschriebenen Homberg'schen Pyrophor, und sind nebst eigenen Ansichten durch Gren[2] zusammengestellt worden; nach Döbereiner[3] ist die Entzündung eine Folge des vorhandenen Kalis oder Natrons, welche in fein zertheiltem Zustande mit Schwefel und Kohle verbunden sich entzünden, Berzelius[4] aber findet die Ursache darin, dafs von zwei vereinten Körpern der eine den andern disponirt, sich mit Sauerstoff zu verbinden, woraus dann die durch Cooper, Arfredson, Wöhler und Anderen erhaltenen Pyrophore aus Kohle und einem Metalle, namentlich Platin, Antimon u. a., erklär würden. Von grofser Wichtigkeit sind die genauen Untersuchungen von Gay-Lussac[5], woraus hervorgeht, dafs kein freie Kalium oder Natrium vorhanden ist, weil durch Hinzukommen von Wasser kein Wasserstoffgas frei wird. Nach ihm ist die Kohle kein nothwendiger Bestandtheil; denn 75 Gr. Alaun mit 3,33 Gr. Kienrufs, durch Weifsglühhitze in eine rothbraune Masse verwandelt, entzündeten sich ohne eine Spur vorhandener Kohle. Auch die Thonerde ist nicht nothwendig, denn 1 Atom schwefels. Kali mit 3 At. schwefelsaurer Magnesia geglüht gab einen guten Pyrophor, und daher scheinen Thonerde und Magnesia nur zur besseren Zertheilung des Schwefelkaliums zu dienen. Ein Gemenge aus 27,3 Gr. schwefelsaures Kali mit 7,5 Gr. Kohle geglühet gab keinen Pyrophor, als aber die doppelte Quantität Kohle genommen worden war, zeigte sich eine mit Gefahr verbundene Entzündlichkeit, wozu die Anwesenheit der feuchten Luft nicht erforderlich war, und ebenso verhielt sich ein Gemenge aus schwefelsaurem Natron mit Kienrufs. Di

1 Eine grofse Zahl wird beschrieben durch Proust im Journ. de Phys. T. XIII. p. 432. Uebers. in Gehlen's Journ. Th. VI. S. 365.

2 System. Handbuch d. gesammten Chemie. Th. I. §. 787.

3 Schweigger's Journ. Th. XVI. S. 118.

4 Jahresbericht 1825. S. 70.

5 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 415. Poggendorff's Ann. XIII. 299.

le Entzündlichkeit dieser Pyrophore, verglichen mit der der
hnlichen, scheint von der stärkeren Vertheilung, von der
senheit einer unwirksamen erdigen Substanz und ohne
l von einer geringeren Menge von Schwefel abzuhängen.
DORFF zeigt, indem er dieser Erklärung beitritt, zugleich,
auch auf die verschiedenen sonstigen Pyrophore An-
leidet, in denen das Brennbare aus fein vertheiltem
kel oder Kobalt besteht, z. B. die von MAGNUS[1] be-
, wie gleichfalls nicht minder auf die Selbstent-
t der Uran-Metallsalze[2], des aus Realgar durch Kali
den Schwefelarseniks[3] und des feingepulverten
s[4]. Mit Recht erinnert POGGENDORFF zugleich
ndung, die durch Verdichtung des Wasserstoffgases
mit fein vertheilten Metallen erzeugt wird, wohin
gehören mögen, die man durch Glühen von Pla-
Korkspähnen, durch Zersetzung des weinstein-
ammoniaks und durch Glühen von Grünspan
in Wasserstoffgas erhält. Die Zahl der Pyro-
leicht noch bedeutend vermehren, wenn man
darüber aufsuchen wollte. So erwähnt WAL-
eile von ihres Krystallisationswassers beraubter
einem trocknen Behälter genau gemengt mit
trocknem und pulverisirtem Bleiperoxyd,
und lange lebhaft glühend bleiben. BÖT-
diese Versuche und dehnte sie auf andere
s, wobei er fand, dafs 5,25 Th. Bleiper-
eil in heifser Luft getrockneter Oxalsäure
-bunden sich beinahe augenblicklich ent-
das Glühen kürzere Zeit, weil die Säure
nthält. Ein Atom Citronensäure, einige
dann getrocknet und pulverisirt, dann
leiperoxyd gemengt, entzündet sich so-
ne Zeit[5].

II. 81.
267.
.
1794. Th. II. S. 179. BOULLAY in Journ.

März in London and Edinb. Phil. Mag.

131) Unter die Classe der Selbstzündungen gehört au ein im Ganzen glücklicherweise seltenes, aber doch schon vorgekommenes Phänomen, nämlich das, ohne Hinzukomm des Feuers von aufsen, vielmehr von innen ausgehende *Selb verbrennen der Menschen.* Gänzliche Abwesenheit einer Ei wirkung des Feuers von aufsen ist bei der hier zu betrac tenden Thatsache nothwendige Bedingung, weswegen man si viele Mühe gegeben hat, bei den einzelnen vorgekommenen Fäll den Beweis hierüber zu führen. Da solche Katastrophen selt sind, Feuerzeuge und Feuer aber zu den gewöhnlichsten Ur gebungen der Menschen gehören, so war dieses allerdings r einigen Schwierigkeiten verbunden, es läfst sich aber annehm dafs in einigen Fällen die Abwesenheit jedes äufserlich einwi kenden Feuers mindestens höchst wahrscheinlich, in einig anderen Fällen völlig erwiesen war. Das Selbstverbrennen o Menschen besteht in einer von innen ausgehenden, mit äufse lich auflodernder leichter Flamme verbundenen Zersetzung c weichen Theile des menschlichen Körpers, wodurch diese eine höchst widerlich riechende, dickflüssige Jauche mit Z rücklassung der härteren Knochen verwandelt werden, zuweil geht aber die Zersetzung nur bis zu einer schwärzenden Ve kohlung. Besonders sind Personen weiblichen Geschlechts u namentlich sehr corpulente, durch anhaltenden übermäfsig Genufs geistiger Getränke zerrüttete diesem Schicksal ausgeset: und es sollen aus dieser Ursache bei den Samojeden, die vi Branntwein trinken, nach Malte-Brun[1] verhältnifsmäfsig vie Fälle dieser Art vorkommen. Eins der ältesten bekannt Beispiele ist das der Gräfin Zangari[2], aufserdem aber erwäh Marozzo[3] das der Gräfin Cornelia Bandi, welche bis a die Beine in Asche verwandelt wurde, so wie einer gewiss Grace Pitt, bei welcher die Entzündung von dem Inne der Eingeweide auszugehen schien, und eines gewissen Prie sters von Bergamo, welcher auf gleiche Weise verzehrt wurd Diese und noch andere Beispiele hat Socquet[4] gesammel ausführlich aber ist dieser Gegenstand behandelt worden durc

1 Précis de la Géographie universelle. T. V. p. 477.
2 Philos. Trans. 1731. N. 476.
3 Mém. de l'Acad. de Turin. T. III. p. 483.
4 Essay sur le Calorique. Par. An IX.

ıllständigsten durch J. H. Kopp[3],
nt gewordenen Fälle aufzählt und
e mit den begleitenden Umständen
sehr interessanter und genau con-
ɔrennung des Priesters G. Maria
n der Arzt Battaglia[4] beschrie-
weder corpulent, noch dem über-
:tränke ergeben, kam ermüdet von
:m heifsen Tage bei einem Be-
Filetto an, wünschte einige Zeit
ıkleiden und sein Abendgebet zu
ein Nachtessen erquickte, und war
r. Nach einiger Zeit hörte sein
hrei desselben, ging zu ihm und
:streckt; er bemerkte eine leichte
r Schultern, welche sogleich er-
Hemdärmel verbrannt, aber die
ıupthaar nicht einmalversengt, auch
ichen Geruch im Zimmer. Am
Patient dem herbeigerufenen Arzte
er habe einen plötzlichen Schlag,
rechten Arm bekommen und da-
inem Hemde gewahrt, wodurch
ıut des rechten Vorderarmes, die
:iles und des Rückens bis zu den
Fleische abgelöset und hingen in
Stellen wurden schnell brandig,
n, anhaltendes Erbrechen, fauliger
ge erfolgte der Tod mit Zeichen
eine Lampe in seinem Zimmer
von aufsen einwirkenden Entzün-
ähnlichen Falle, welchen Scherf[5]
starker Branntweintrinker wurde

m. produites par l'abus des liqueurs

ı. Hamb. 1804.
ler Selbstverbrennungen des menschl.

taire. Par. 1801.
tsarzneikunde. 1815. S. 383.

Abends berauscht ins Bette gelegt, am andern Morgen ab
fand man die unbedeckten Theile, das Gesicht, die rechte Han
und die grofse Zehe des rechten Fufses verkohlt oder verzehr
alle vom Bette oder Kleidungsstücken bedeckten Theile ab
unversehrt. Bette und Decke hatten wenig gelitten, doch w
letztere mit einer rufsigen, schmierigen Masse überzogen un
das Zimmer mit einem undurchsichtigen stinkenden Damp
erfüllt. Ein anderes Beispiel ist das von einem Manne, wel
cher leicht gekleidet in Hemdärmeln stand und plötzlich ei
Flamme am Mittelfinger seiner rechten Hand gewahrte, dur
welche seine leinenen Beinkleider und nachher sein Hem
entzündet wurden, als er den Finger daran rieb. Die Person
seiner Umgebung sandten zu einem Priester, um den vermein
lichen Teufel auszutreiben, dieser aber erklärte vernünftig, d
der Fall vor den Arzt gehöre, und der Patient wurde geheil
Diesem ähnlich ist der Fall bei einem Mädchen, welches i
ganzen Körper Hitze spürte, vorzüglich in der linken Hand, der
Temperatur während dessen stets höher war. Zweimal fing d
Zeigefinger dieser Hand mit einer blauen, nur im Dunklen sich
baren Flamme an zu brennen und verbreitete einen Geru
nach Schwefel. In Wasser getaucht schien die ganze Ha
zu brennen (?), welche in die Schürze gewickelt, und als
aus einem fremden Hause nach ihrem eigenen zurückgelau
war, erst nach dem Eintauchen in Milch keine weitere Sp
des Brennens zeigte. Später erhielt das Mädchen einige Bl
tern an der inneren Seite dieser Hand, und als sie wegen U
belbefindens in das Hospital ging, kehrte dort das Brennen z
zweiten Male wieder; sie wurde indefs geheilt. Aeufsere V
letzungen waren nicht angerichtet, auch zeigte sich keine Sp
von Elektricität[2]. Die neuesten ausführlichen Untersuchun
über diesen Gegenstand sind von JULIA FONTENELLE[3], welc

1 Nouveau Journ. de Médec. 1822. Dec. Hufeland's Journ. 18
Juni. S. 119.

2 Aus Hecker's Zeitschrift 1825. Aug. in London medical rep
tory. T. III. p. 79. Vergl. RUDOLPHI Physiologie Th. I. S. 212.
ganze Erzählung klingt übrigens etwas verdächtig, namentlich die
einem bei den niederen Volksclassen gangbaren Vorurtheile übere
stimmende Angabe, dafs das Brennen nicht durch Wasser, sond
nur durch Milch gelöscht werden konnte.

3 Edinburgh New Phil. Journ. N. IX. p. 164.

frühere Literatur nicht vollständig
Nach seiner Ansicht trifft dieses
ɔejahrte Personen, und bei einem
: die Verbrennung blofs partiell.
Theile verbrennen, die Extremi-
bleiben, was jedoch mit andern
das Feuer soll ferner anderwei-
ızen nicht ergreifen, wie nament-
ll gewesen seyn soll, worin zwei
, — ein allerdings kaum glaubli-
ser scheint die Flamme eher zu
und nach dem Aufhören dersel-
: Zersetzung von innen. Ferner
n Winter häufiger seyn, als im
ründen widerspricht, indem nicht
h alle Zersetzungsprocesse in der
dafs man glauben sollte, wenn
Vinter häufiger vorkommen, sie
ern Feuers gewesen, womit man
ben ist. Gegen die allgemeinen
ll es endlich kein Mittel geben,
lötzlich eintritt und der Körper
verzehrt wird, so dafs blofs fet-
iderlich riechende Jauche zurück-
die blofs einzelne Glieder treffen,
sind mindestens nicht tödtlich.

gegebenen, von so vielen ver-
en Thatsachen, die Erhitzungen,
ıngen des ganzen menschlichen
che u. s. w. gegründet sind, so
, dafs diese Erscheinungen zur
ündungen gehören. Inzwischen
ündung erfolge blofs durch äu-
er, wobei dann die Jauche ein
ı Fettes sey, eine Ansicht, die
zählungen sich nicht wohl ver-
er die Erscheinung als Folge des
er Getränke ansah, suchte die

VI. S. 300.

Ursache des seltsamen Phänomens in einer Entzündung d
Weingeistes durch thierische Wärme. MARC, KOPP und d
meisten Andern glauben, es entwickele sich viel Wasserstoff
gas, welches durch Elektricität oder aufgelösten Phosphor en
zündet werde; FONTANELLE verwirft Beides und auch die Hy
pothese, daſs eine unverhältniſsmäſsig starke Verbindung m
Sauerstoff eintrete, weil keine auſserordentliche Hitze st
finde und weder Kohle noch Ammoniak erzeugt werde, vie
mehr hält er den ganzen Proceſs für eine Zersetzung der we
chen animalischen Theile. H. F. THYSSEN[1] leitet die Selbs
verbrennung von Phosphorwasserstoffgas ab, zu welchem Saue
stoffgas aus den Lungen tritt; sie soll daher von der Brust au
gehn und der brennende Athem der Branntweintrinker da
aus erklärlich seyn, Dr. BALLY[2] dagegen führt sie auf bloſs
Wasserstoffgas zurück, welches durch einen elektrischen Fu
ken entzündet werde. Auf diese Idee führte ihn der Umstan
daſs er bei einer Section eines am Typhus verstorbenen P
tienten eine Menge dieses Gases in den innern Höhlung
fand.

Vor allen Dingen muſs wohl bei diesen Erklärungen c
Elektricität ganz aus dem Spiele bleiben, deren vermehrte En
bindung durch nichts bedingt, vielmehr bei fehlender Isolirun
ganz unmöglich ist, so wie ein eigentlicher, zur Entzün
dung erforderlicher, elektrischer Funke. Abstrahiren wir hie
von, so wird durch den animalischen Lebensproceſs stets ei
bedeutende Menge Wärme entwickelt, welche durch ungewöhn
liche Energie leicht bis zu einem Grade gesteigert werden kan
wie er zur Entzündung der Pyrophore nach den angegeben
Beispielen erforderlich ist. Auſserdem gehört reichliche En
bindung von unreinem, kohlenstoff-, schwefel- und pho
phorhaltigem Wasserstoffgas zu den nicht ungewöhnlichen E
scheinungen des menschlichen Lebensprocesses, wesweg
TREVIRANUS[3] das im Zellgewebe enthaltene Phosphorwasse
stoffgas als wesentlich mitwirkend betrachtet, und da mit de
thierischen Leben die Aufnahme von Sauerstoffgas stets ve

1 Bydragen to de natuurkund. Wetenschappen. Amst. 1826. N. I p. 214.

2 Gaz. méd. 1831. N. 2. Dublin Journ. N. IX. p. 311.

3 Biologie. T. V. p. 138.

Steigerung dieser Processe bis zu
ge eine wirkliche Flamme erscheint
mmtlichen weichen Theile darauf
nicht vorstellbaren Erscheinungen,
'yrophoren anreihen lassen.
ge Menge von Körpern werden
nentlich durch Erwärmung oder
vermocht, neue chemische Verbin-
on Licht und Wärme einzugehn,
lich die *detonirenden Substanzen*
ier zu erwähnende Verbindung ist
er, wovon jedoch bereits ausführ-
es möge daher hier nur nachträg-
nach URE[2] dasselbe bestehn soll

e,	9,0	Schwefel,	0,5	Wasser,
	8,5	—	0,6	—
	9,0	—	1,1	—
	8,0	—	0,8	—

iältnissen aber aus 75,0 Salpeter,
Kohle; das daraus entbundene Gas
einung einen 787,3mal so grofsen
reihet sich das seit langen Zeiten

. VIII. S. 324.

t. 1830. Oct. N. I. p. 121.

n interessanten Gegenstande füge ich
ist, dafs ROGER BACO (geb. 1216, gest.
llitate magiae sagt, man könne nach
gen, wenn man Salpeter, Schwefel und
ı machte SCHWARZ im Jahre 1300 den
n Venetianern bekannt, die sich dessen
enuesen bedienten. In der Schlacht bei

ssigkeiten, welche durch das Verbren-
kelt werden und Ursache seiner Wurf-
ere Untersuchungen, z. B. von NEWTON
z, HAWKSBEE, MARIOTTE, PAPIN, JOH.
ı, SALUCE in Miscell. Taurin. T. I. p. 1
. Eine ausführliche Erörterung seiner
Luft und der Wasserdämpfe hat VAN-
. T. IV. p. 106 mitgetheilt. HUTTON in

bekannte *Knallpulver*[1] (*Pulvis tonans;* poudre fulm nante), desgleichen die nach den enthaltenen Metallen b nannten explodirenden Mischungen, das *Knallgold* (*Auri fulminans;* Or fulminant)[2], HOWARD's *Knallquecksilbe* und HOWARD's, BRUGNATELLI's und BERTHOLLET's n stärkeres *Knallsilber*[4] (*Argentum fulminans;* Argent fu minant), nach den neuesten Untersuchungen sämmtlich s genannte *knallsaure Salze.* Insbesondere giebt das *chlorsau Kali,* anfangs *hyperoxygenirt-salzsaures Kali* genannt, e Menge Verbindungen, welche durch chemische Zersetzung o durch mechanischen Druck sich entzünden und meistens st detoniren[5]. Am auffallendsten zeigt sich dieses, wenn m dünne Plättchen Phosphor mit chlorsaurem Kali bestreuet u auf einem Ambos liegend mit einem schweren Hammer schlä Die mit furchtbarem Knalle verbundene heftige Explosion eine Folge davon, dafs der Phosphor mit dem entbunden Sauerstoffgas verbrennt und Chlorphosphor gebildet wird. I Versuch ist zwar imposant und wegen der momentan erf genden, unerwartet heftigen Verbindung mit Erzeugung v

---

Tracts T. III. p. 201 giebt an, dafs nach ROBINS der Raum der dem Pulver entwickelten elast. Flüssigkeiten 244mal der des Pulv sey: durch Glühhitze würden diese dann $4\frac{1}{11}$mal ausgedehnt, und ben daher eine Kraft von $244 \times 4\frac{1}{11} = 998$ oder in runder Zahl v 1000 Atmosphären. Die neuern Untersuchungen geben hierüber g nauere Resultate. SALZER Vers. über d. Schiefspulver. Carlsr. 18 S. 18 erhielt aus 0,25 Gr. Schiefspulver, wovon 350 Körner 1 wogen, 0,19 Cub. Z. Gas, aus 0,09 Kohlensäure, 0,04 Sauerstoffgas u 0,06 Stickgas bestehend.

1 S. Art. *Kalium.* Bd. V. S. 840. Vergl. INGENHOUSS vermisc Schriften. Th. I. S. 335.

2 S. Art. *Gold.* Bd. IV. S. 1610.

3 S. Art. *Quecksilber.* Bd. VII. S. 1021. Vergl. GMELIN's Han buch d. Chemie. Th. I. S. 1316.

4 S. Art. *Silber.* Bd. VIII. S. 799. Vergl. GMELIN's Handbu Th. I. S. 1352 u. 1357.

5 S. Art. *Kalium.* Bd. V. S. 841. Die Zahl der auf diese We sich entzündenden Substanzen liefse sich noch bedeutend vermehre wenn es der Mühe werth wäre, die einzelnen aufzusuchen. So en zünden sich 4 Th. braunes Bleioxyd mit 1 Th. Schwefel nach VA QUELIN in Ann. de Chim. T. LXII. p. 221, wenn sie heftig in eine Mörser gerieben werden; auch entzündet sich jenes Oxyd nach Vog in schwefligsaurem Gas. S. Kastner's Archiv. Th. IV. S. 456.

m Interesse, läſst sich am groſs-
n den Phosphor mit mindestens
alzes vereint in Papier einwickelt
ınung wegen mit einem schweren
dann auch sehr gefährlich, weil
ge Explosion allseitig umherge-
ann. Ohne Gefahr läſst sich der
daſs man eine kleine Quantität
ı einer sehr dünnen Lage mit ei-
lem Salze bestreuet und dann mit
ŗt; der diesemnach festklebende
Quantitäten zur Seite, doch ist
s Schlagens die Augen zu schlie-
erwärmten Mörser von Serpen-
chwefelblumen so, daſs bloſs ein
Wandungen hängen bleibt, in-
, auch sogar den Mörser mit ei-
n kann, schüttet man demnächst
es hinein und reibt mit dem Pi-
endes, mit Funkensprühen ver-
ln, welches bei etwas gröſserer
ich werdenden Detonation über-
iese Weise nicht mehr als 1,5
lich ein betäubender Knall mit
, die einen Theil seiner Klei-
eb noch 0,5 Gran der Substanz

ıdbarkeit dieser Substanzen durch
zum sogenannten *Zündpulver*
ı *Percussionsgewehren* oder den
henen Geschützen. Es ist bereits
pulver aus chlorsaurem Kali mit
ub und Salpeter gemengt besteht,
r Ort seyn, die verschiedenen,
ı Mischungs- und Verfertigungs-
ird vielmehr genügen, beispiels-
ungen derselben namhaft zu ma-

chen. Die *Knallkügelchen*, deren man sich bei den Percu sionsschlössern bedient, bestehn aus 100 Th. chlorsaurem Ka 12 Th. Schwefel und 10 Th. Kohlenpulver oder aus 100 T des Salzes, 42 Th. Salpeter, 36 Th. Schwefel und 14 Theil Hexenmehl. Man bedient sich aufserdem häufig der *Zündhü chen*, kleiner Hütchen von sehr dünnem Kupfer, in welc ein Tropfen Knallquecksilber mit etwas Benzoe oder eine sonstigen Bindemittel vereint gebracht ist[1]. Die jetzt allg mein bekannten und in unermefslicher Menge fabrikmäfs verfertigten sogenannten *chemischen Zündhölzchen* sind v zweierlei Art, entweder solche, die in etwas Schwefelsäu getaucht oder leicht damit benetzt durch chemische Zersetzu sich entzünden, oder die etwa seit 1835 weit mehr gebräuch lichen, die durch Reiben in Brand gesetzt werden. Die ge wöhnliche Beschaffenheit der erstern ist bereits[2] angegeben wor den, sie haben die Unbequemlichkeit, dafs das stets erforderli che Gläschen mit Schwefelsäure leicht Sachen beschädigt, wen man es nicht vorsichtig aufbewahrt; aufserdem aber zieht di Schwefelsäure, welche nur in kleiner Quantität vorhanden sey darf, wobei man noch aufserdem in das Gläschen Kiessan oder besser Asbest bringt und diese mit der Schwefelsäu tränkt, begierig Wasser aus der Luft an und wird dadurc zur Erregung der Entzündung untauglich. Hierin liegt haupt sächlich der Grund, dafs diese Art Feuerzeuge sobald fast gan aufser Gebrauch gekommen ist. Sehr brauchbar, aber zu kost spielig sind die Zündhölzchen, welche Sam. Jones[3] in Vor schlag gebracht hat. Sie bestehn aus kleinen Glaskügelchen in denen eine geringe Quantität Schwefelsäure enthalten ist Diese sind mit der Mengung der chemischen Zündhölzche umgeben, dann mit einem Streifen Papier oder dem Ende eine Dochtes umwickelt, und die Entzündung erfolgt durch das Zer schlagen des Kügelchens. Bei den neuerdings am meisten ge bräuchlichen Zündhölzchen ist Phosphor diejenige Substanz

1 Vergl. P. W. Schmidt in Schweigger's Journ. Th. XLI. S. 66 E. G. Wright scheint sie zuerst angewandt zu haben. S. G. LXXVI 73. Ausführliche Untersuchungen über die Bestandtheile der Zünd pulver und die für sie geeigneten Schlösser von Karmarsch findet ma in den Jahrbüchern des Wiener polytechnischen Instit. Th. XII. S. 107

2 S. Art. *Kalium*. Bd. V. S. 4.

3 Repertory of Patent Inventions. 1829. Mart. p. 147.

:t. Um die Entzündbarkeit des-
: er sich im Zustande feiner Ver-
:örpern verbunden, welchen die
wird, und mit andern harten und
lliche Wirkung des Reibens ver-
andtheile werden von den Fabri-
Der *detonirenden Mischungen*
erordentliche Menge, welche hier
t zweckmäfsig seyn dürfte, und es
iniger der interessantesten und am
nmenden Verbindungen genügen.
[1] zwei Theile salpetersaures Zink-
ures Kobaltoxydul mengt und das
:urzhalsigen Glaskugel oder in ei-
iner Weingeistlampe aussetzt, so
und erscheint zuerst rosenroth,
und geht endlich unter plötzlicher
en trocknen grünfarbigen Zustand
gleich einem kleinen Vulcane aus
. Die Kenntnifs anderer Beispiele
ie in Menge.

e Art der Wärmeentwickelung bis
findet bei dem nach seinem Er-
Platinsalmiak statt, die hier um
verdient, je sicherer jetzt wohl
ntzündung auf einer Verdichtung
ruht, und nicht auf elektrischem
iker anzunehmen geneigt waren.
lie im Jahre 1823 gemacht wurde,
ch zu einer eigenthümlichen Art
t bereits berichtet[2], auch ist die
'latinschwammes oder *Platinsal-*
:er feiner Partikelchen regulinischen
und es kann daher hier nur von

;. 86.
. 590. Nach Pleischl in Schweigger's
mmt auch geglühetes Palladiumcyanit
lühen.

der Ursache dieser Erscheinung die Rede seyn, um zu bestimmen, unter welche Classe von Wärmeerzeugungen diese specielle Art gehört und inwiefern sie sich mit der allgemeinen Wärmetheorie vereinigen läſst. Zuvor verdient hier bemerkt zu werden, daſs auch das sogenannte *Platinmohr* oder Liebig's *Platinschwarz*[1] und das *Iridmohr* ähnliche Erhitzungen zeigen[2], die zunächst unter die später (§. 138) zu erwähnenden Wärmeentbindungen gehören. Nach Pleischl[3] giebt Löschpapier in salzsaure Platinauflösung getaucht und verbrannt eine Asche, welche noch besser als Platinschwamm zünden soll. Nach De la Rive und Marcet[4] findet die Fähigkeit zu entzünden noch statt bei — 20° C., es wird aber längere Zeit erfordert, bis die Entzündung erfolgt, und sie hört unter — 20° C. ganz auf; *Palladium*, auf gleiche Weise bereitet bewirkt die Entzündung des Knallgases fast gleich stark, *Gold* aber muſs eine Temperatur von 50° C. haben, wenn es diese Wirkung hervorbringen soll, die beim Platin nie aufhört. Die Ursache der Entzündung des Knallgases durch diese Substanzen setzten die genannten Gelehrten in die starke Verdichtung namentlich des Wasserstoffgases durch dieselben, in deren Folge Wärme ausgeschieden und die Verbindung mit Sauerstoffgas eingeleitet wird, die mit zunehmender Hitze wächst, bis Entzündung erfolgt, später aber meinte De la Rive[5], die Ursache liege in dem schnellen Wechseln der Oxydation und der Reduction der Oberfläche des Metalles, wie dieses auch bei der *Lampe ohne Flamme* der Fall sey. G. G. Schmidt[6] meint es sey dadurch, daſs das Platin in der Reihe der negativ elektrischen Körper eine der ersten Stellen einnimmt, der Wasserstoff aber in der der positiv elektrischen, schon eine starke Wahlanziehung beider bedingt. Wenn aber diese elektrische Anziehung zugleich durch die physische Adhäsionskraft in Folge der lockern und porösen, viele Oberfläche und Spitzen darbietenden Form der Körper erhöht werde, so müsse die anfan-

1 Poggendorff's Ann. XVII. 106.

2 Döbereiner in Schweigger-Seidel n. Jahrb. Th. III. S. 365 u. 466.

3 Biblioth. univ. T. XXV. p. 122.

4 Mém. de la Soc. de Génève. T. II. P. II. p. 240.

5 L'Institut. 1838. N. 260.

6 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Gieſs. 1826. S. 353.

und die dadurch frei werdende
ıselwirkung der Gase so sehr er-
asser vereinigen und ihre latente
eine mefsbare Elektricität hierbei
e SCHMIDT meint, nicht befrem-
i allen chemischen Actionen nur
ım Vorschein kommt; allein ab-
othwendig unwahrscheinlich seyn
lauptursache wirkende Elektricität
:, darf zugleich das elektroche-
dem Sauerstoff und Wasserstoff
ern die positive Elektricität des
ative des Sauerstoffgases um so
:hr sie durch die des Platins be-
h dann die nothwendige Bedin-
en würde. Inzwischen hat LIE-
viderlegt. Zuvörderst verdichtet
m das Wasserstoffgas durch Ab-
geschieht auch durch die Kohle
rem Gas, welche beide einander
ganz entgegengesetzt sind; das
dem des Platinschwammes auch
nach den Versuchen THÉNARD's
elwasserstoffgas und Sauerstoffgas
:t und Schwefel abgesetzt wird.
:tand hinzu, dafs nicht Platin al-
:etalle, fein zertheiltes Glas und
ı auch durch höhere Temperatur
:n. Dagegen zeigt LIEBIG über-
amm zwar, wie die ausgeglühte
besitze, die Gase zu verdichten,
ern Grade. Nach DÖBEREINER[2]
vamm 20 Kubikzoll Wasserstoff-

112.
bachtung dieses Gelehrten nehmen
ım beim Trocknen an der Luft das
ı Sauerstoffgas auf, ohne sich che-
erdichten es mit einer Kraft von 800
lie Entzündung leicht erklärbar wird.

gas. Nimmt man hiervon nur 15, indem die übrigen 5 an Rechnung des Sauerstoffgases gebracht werden, welches vorhe aus der Luft absorbirt war und mit dem Wasserstoffgas Wasser gebildet hatte, und wird hiernach das Volumen des Wasserstoffgases mit dem Volumen des Platinschwammes, das mittlere spec. Gewicht des letztern zu 16 angenommen, verglichen, so erhält man das ungeheure Volumen von 728 Kubikzoll Wasserstoffgas, die durch 1 Kubikzoll Platinschwamm verdichtet werden, woraus dann die bis zur Glühhitze steigende Erwärmung von selbst hervorgeht, wenn noch obendrein die geringe Wärmecapacität des Platins in Anschlag gebracht wird.

b) Das Verbrennen oder das sogenannte Küchenfeuer.

Es liefsen sich hieran sofort andere, wegen ihrer grofsen Aehnlichkeit kaum zu trennende, Erscheinungen knüpfen, allein da sie gleich nahe einer andern Classe von Phänomenen zugehören, so wollen wir sie in diesen neuen Abschnitt herüberziehn. Ueberhaupt sind in der Natur keine scharfen Begrenzungen vorhanden und die Anordnung unter einzelne Abtheilungen dient daher blofs dazu, die Sache übersichtlicher zu machen und ihre Auffassung zu erleichtern. Zudem haben wir die Frage noch nicht erörtert, ob die Phänomene der Wärmeerzeugung durch Chemismus wirklich unter eine besondere Classe zu ordnen sind oder vielmehr der allgemeinen angehören, welche die Wärmeerzeugung durch Verdichtung einschliefst.

135) Der Begriff, den wir mit dem Ausdruck *Verbrennen* verbinden, ist oben angegeben worden, und die Richtigkeit dieser Bestimmung, nämlich einer energischen Verbindung von Körpern mit Ausscheidung von Licht und Wärme, unterliegt wohl keinem eigentlichen Zweifel. Stellen wir denselben in dieser Allgemeinheit auf, so gehören alle die angegebenen Processe, wobei Licht und Wärme ausgeschieden werden, unter eine gemeinschaftliche Classe, ja sofern die Lichtentwickelung nur einen höhern Grad von Wärmeerzeugung, einer bis zum Glühen gesteigerten, voraussetzt, hierdurch aber eine Grenze zu ziehn keineswegs nothwendig ist, und da man ohnehin selbst de

ɛentwickelung mehrfach als ein
n wollte, so würden alle bisher
meerzeugung durch Verbindung
ɪern unter die allgemeine Classe
eyn, was in rein wissenschaft-
werflich wäre. Dem Sprachge-
: unter Verbrennungsprocessen in
en, wobei der eine oder beide
rt werden, als sie ihre wesent-
und zur Erzeugung eines oder
bweichender Beschaffenheit die-
ɪck in noch engerer Bedeutung,
ɪrennen *diejenigen Phänomene,*
'urch Sauerstoff gesäuert wird,
'er Verbindung oder Säuerung
und meistens auch von Licht
wir uns bloſs auf die hierher

zung unstatthaft sey, ergiebt sich
ɛrstellung einiger Thatsachen. Wenn
ahldraht unten zuspitzt, mit einem
s versieht und in eine Flasche mit
ɪches Verbrennen mit Funkensprühen
n einer Flasche mit erwärmtem Chlor-
dieses Phänomen als ein wirkliches
et kein Sauerstoffgas vorhanden ist.
ichen Versuche, welche H. Davy über
t verschiedenen Metallen angestellt
n Schweigger's Journ. Th. III. S. 205,
aten und S. Strating über das Ver-
er Substanzen in diesem Gase. S.
437. Auch auf Phosphor wirkt das
ɪtritt also das Sauerstoffgas. Appa-
man beschrieben in: Laboratorium
. die durch Berzelius in G. XXXVII.
ɪchwefels mit Kupfer in den von ihm
ɪeiläufig mit den im J. 1793 von den
llten identisch sind, s. v. Crell's
ls ein wirkliches Verbrennen betrach-
Kupferblechen mit Schwefel in einer
ɛider Körper noch vor Eintritt der
das Metall in Sauerstoffgas verbrannt
sah Hare Eisendraht in Schwefeldampf
efeleisen verwandeln. Er füllte Schwe-

gehörigen Phänomene, so ist deren Zahl so ungemein grof sie sind so vielseitig bedingt und so vielfach modificirt, da sie allerdings die ihnen hier bestimmte nähere Betrachtung ve dienen. Wir wollen daher von diesem Standpuncte aus d Bedingungen des Verbrennens in diesem engern Sinne näh kennen lernen.

136) *a*) Die erste wesentliche Bedingung des Verbrenne ist die gröfsere oder geringere *Verwandtschaft zum Sauersto* die zwar zugleich sehr von der Temperatur abhängt, doc wollen wir den Einflufs der letztern für sich betrachten. Di Abhängigkeit des Verbrennens von der Verwandtschaft d Körper zum Sauerstoff zeigt sich nach H. Davy[1] durch fol genden Versuch. Wenn man in eine Flasche mit langem en gen Halse eine brennende Wachskerze senkt, so wird sie bal ausgehn und keine andere wegen Mangels an Sauerstoffgas dari weiter brennen. Senkt man demnächst eine enge Röhre m einem Strome brennenden Wasserstoffgases hinein, so wird die noch eine Zeit lang brennen und dann aus gleicher Ursac erlöschen. Dennoch brennt Schwefel auch nachher darin et was, und wenn dieser erloschen ist, noch Phosphor mit we nigem Lichte. Welche Körper die gröfste Verwandtschaft zu Sauerstoff haben und in welcher Reihenfolge diese abnimm dürfte schwer zu bestimmen seyn, sofern hierbei die Wärm von grofsem Einflufs ist, indem namentlich das Eisen in sta ker Glühhitze dem Kali seinen Sauerstoff entzieht, obgleich in niedrigerer Temperatur das Wasser nicht zersetzt, was dur Kalium geschieht; inzwischen kommt es hier auf eine schar Grenzscheidung nicht an, sofern sich in mittlerer Temperatur d gröfsere Verwandtschaft zu Sauerstoff und die hierdurch be dingte leichtere Verbrennung auffallend herausstellt. Zu den a leichtesten verbrennenden Körpern gehören die Metalloide, d *Kalium* und *Natrium*, die schwer oder gar nicht reducirbare Metalle, als Magnium, die zum Theil noch nicht für sich da

fel in einen Flintenlauf, brachte das untere Ende desselben zum Glü hen, verschlofs das obere Ende mit einem Korke oder blies hinein es wurde dadurch ein Strom Schwefeldampf aus dem Zündloche ge trieben und ein Bündel hineingehaltenen Eisendrahtes verbrannte au genblicklich. S. Philos. Magaz. 1824. Apr. p. 245.

1 Philos. Trans. 1817. p. 63.

n, das Boron und andere. Setzt Zutritte der atmosphärischen Luft stoffgas auf, allein nicht schnell rhitzt zu werden, wirft man es s dieses so lebhaft, dafs es mit unter heftiger Bewegung schnell

andtschaft zum Sauerstoff zeiich auch der *Phosphor*, welcher ier Temperatur von 7° C. Sauerhorige Säure bildet und, indem eigt, mit schwachem, nur im : so lange verzehrt wird, bis Zutritt der Luft hindert. Die iwach (§. 166), weil die ent- ; der Dampfform der gebildeten nn daher ohne Gefahr bei nicht : Entzündung der ganzen Phosne gefährliche Verletzung der Hände und Gesicht mit Phosampf aufsteigt und im Dunkeln ar wird. Uebrigens entzündet Reiben an rauhen Flächen, wolpiere u. s. w. und theilt dann lichen Körpern mit, weswegen endet. Die Mischungen, welche Stäbchen angebracht sind, um ı gewöhnlichen Fufsboden, an d, selbst wenn sie tapezirt ist, andelung rauh gemachten Theile chen dienenden Feuerzeuge her- ı Fabricanten verschieden ge- ı ein Geheimnifs daraus, im rauf an, dafs der Phosphor fein ırste Substanz bei diesen höchst dann zugleich besser zündet. : Enden der Hölzchen in gehher in die zum Anhalten vor- Iischung, welche im Wesentli- besteht. Der entzündete Phos-

phor setzt den Schwefel in Brand und dieser das Holz, verbreitet aber einen unangenehmen Geruch, und man läfst ihn daher bei den bessern weg, die deswegen geruchlose oder wohlriechende heifsen. Eine geeignete Mischung, die ich angegeben finde[1], besteht aus 1 Th. trocknes Korkfeilicht, 1 Th. gelbes Wachs, 8 Th. gewöhnliches Petroleum und 4 Th. Phosphor. Ist der geschmolzene Phosphor wieder erkaltet und nimmt man mit einem Schwefelhölzchen etwas von dieser Masse heraus, so erfolgt Entzündung des fein vertheilten Phosphors. Diese neuern, ungleich bequemern Feuerzeuge haben die ältern, obendrein etwas gefährlichen, verdrängt, namentlich das sogenannte *tragbare Feuer* und die *Turiner Kerzen*. Ersteres ist ein Fläschchen mit Eisenfeilicht, Sand und Knochenasche, oben mit einer dünnen Schicht fest angedrückten Phosphors, auf welcher man den in ein Pulver von Schwefel und Bärlappsamen getauchten Docht einer Kerze reibt, die letztern von Paibla in Turin erfunden[2], sind dünne, polirte Wachskerzen, die in einer oben und unten zugeschmolzenen Glasröhre stecken, in welche man zuvor etwas Phosphor und Schwefel gebracht hat. Beim Gebrauche zerbricht man die Röhre und zieht die Kerze heraus, die sich durch das Losreifsen ihres mit der brennbaren Mischung vereinten Dochtes entzündet, auch erfolgt dieses mehrmals nach einander, wenn man die Kerze schnell wieder in die Röhre steckt, jedoch nur so lange, bis der Phosphor verzehrt ist. Nach Driessen[3] entzündet sich der Phosphor, wenn er an der Oberfläche etwas oxydirt ist, beim Zutritt atmosphärischer Luft selbst in einer Kälte unter dem Gefrierpuncte. Hiernach werden Feuerzeuge bereitet, indem man etwas Phosphor in einem Gläschen sich entzünden läfst, das Gläschen aber sofort durch einen genau schliefsenden, mit etwas Unschlitt überstrichenen Glasstöpsel verschliefst, in einer eisernen Büchse verwahrt und beim Gebrauche nur kurze Zeit geöffnet läfst. Nimmt man mit einem Schwefelhölzchen etwas Phosphor heraus, so entzündet sich dieser sogleich beim Zutritt der Luft; doch steht die Gefahr

1 Schweigger's Journ. 1830. St. 111. S. 129.

2 V. Crell's neueste Entdeckungen. Th. IX. S. 88. Ingenhouss verm. Schr. von Molitor. Th. I. S. 228.

3 G. LIX. 255.

eicht feuerfangenden Substanz und
nen bessern Mitteln dem prakti-
Phosphor verbindet sich in ge-
Iod unter beträchtlicher Wärme-
Entzündung zur Folge hat[1], und
s auffallend, dafs diese auch bei
welche Meinung jedoch Andere[3]

ung machte VAN MARUM[4] bereits
Phosphor lose in Baumwolle ge-
bestreuet unter der Campane einer
ch entzündet, und zwar wenn das
einen halben Zoll hergestellt ist,
res Leuchten und dann ein Ver-
h nach dem Wiedereinlassen von
es durch Mangel an vorhandenem
Später machte VAN BEMMELEN[5]
he bekannt, welche, wie die
mit denen des ersten Entdeckers
Beide erhielten die Entzündung
Phosphorstangen in Baumwolle
arzstaub oder Schwefelpulver be-
ie Bestreuung auch ohne Baum-
wiederholte BACHE[7] diese Ver-
ndung auch ohne Baumwolle und
Schwefelpulver, leichter erfolgte
g dieser und anderer theils me-
scher Körper.

T. VIII. p. 158.
gno Lomb. Ven. 1833.
ct. p. 130.
eningen. T. III. p. 249. V. MARUM
ils chimiques du Musée de TEYLER.
Chim. T. XXI. p. 158 u. in Gren
len's Journ. Th. I. S. 144. Th. II.

van Zeeuwsch Genootschap. T. IV.

f Sc. N. XXXVIII. p. 372. Edinb.
VIII. p. 370.

Man hat mehrseitig Schwierigkeiten gefunden, die eine genügenden Erklärung dieses Phänomens entgegenstehn, und die sich auf den ersten Anblick darbieten, wenn man von einem anderweitig richtigen Grundsatze ausgeht, dafs die vorhandene gröfsere Menge von Sauerstoffgas das Brennen befördert, mithin die verdünnte Luft einen geringern Antheil desselben darbietet und einen entgegengesetzten Effect hervorbringen mufs; allein schon VAN MARUM betrachtete die Sach aus dem richtigen Gesichtspuncte, dafs zwar diese Hinderniss des Verbrennens allerdings vorhanden sind, aber durch ander sich neu erzeugende Beförderungsmittel bedeutend überwoge werden. Der Phosphor verdampft schon bei mittlerer Tempe ratur[1], diese Verdampfung erfolgt aber im luftverdünnten Raume nicht blofs leichter, sondern der Dampf ist auch wege schneller Ausbreitung dünner, die darin enthaltenen Partikelchen sind kleiner, bieten dem geringen Antheil des vorhandenen Sauerstoffgases verhältnifsmäfsig mehr Oberfläche dar un entzünden sich daher leichter. Die Richtigkeit dieser Ansich geht überzeugend aus verschiedenen, von VAN MARUM nich unbeachtet gelassenen Nebenbedingungen der Erscheinung hervor. Ein bedeutendes Beförderungsmittel des Entzündens geben dann aber die lockern Substanzen, als Baumwolle, dere Fäden nach DAVY dem feinen Platindraht ähnlich wirken, s wie auch Schwefel, Harz und die sonstigen von BACHE angewandten Substanzen in Pulverform. Der Phosphordampf leg sich an dieselben an, und nicht zu gedenken, dafs der Phosphor durch feine Vertheilung zwischen andere Körper, al Schwefel, Iod u. s. w., überhaupt entzündlicher wird, legt sic der Phosphordampf an die kleinen, nur eine geringe Wärme capacität besitzenden Partikelchen in sehr dünnen Lagen an diese nehmen den in geringer Menge vorhandenen Sauersto begierig auf und bewirken die Entzündung um so leichte je weniger die erzeugte Wärme durch dickere Luft entzoge wird. Zudem geht man stets von der Voraussetzung aus, da erst nach statt gefundener Verdünnung die Verbindung mit de in geringer Menge vorhandenen Sauerstoffgas beginne, allei bei der innigen Verwandtschaft beider Körper zu einander h der Phosphor schon vorher eine gewisse Menge Sauerstoff auf

1 L. GMELIN's Handbuch der Chemie. Th. I. S. 271.

inden sich aber inniger im Augen-
ng, und hierdurch wird die Aus-
rennung bewirkt. Es hängt dieses
auf ähnlichen Gründen beruhen-
fs der Phosphor in verdünntem
rch Beimischung anderer Gas-
:, leichter und stärker leuchtet,

viel Wasserstoff enthaltende Kör-
ltschaft zum Sauerstoff, und eine
Wasserstoffgas mit 1 Volumen
zu den Selbstzündern durch me-
werden, denn das sogenannte
'achopyrion mit heftiger Explo-
ırch den elektrischen Funken ge-
lebhafte Verbrennen derjenigen
ıerstoff enthalten; am auffallend-
reinigung des Wasserstoffs mit
nenen, welche sich dem Glühn
ıreihen lassen. Die Construction
gistic Lamp) ist am gehörigen
r müssen aber die Erscheinungen,
;emeinen Gesetzen der Wärme in
:n. Der Procefs des Verbrennens
ıne unter Ausscheidung von Licht
ndung der verschiedenen brenn-
ıllein diese Verbindung geht auch
ınd mit so geringer Energie vor
ırme dabei frei wird, wie dieses
irung der Metalle zeigt. Wärme
Beförderungsmittel dieser Verbin-
igt hat, welcher Knallgas bis et-
ilbers erhitzte und fand, dafs es

ich auch ein geringer Theil verdich-
unzen angehäuft, die den Phosphor
dienen.
XL. S. 16.
72.

sich dann zu Wasser verdichtete, so wie Kohle und Sauerstoff in einer etwas höhern Temperatur zur Kohlensäure. Hierbei ist jedoch stets die Geneigtheit zum eigentlichern Verbrennen unverkennbar vorhanden, und wenn man daher einen Körper von geringer Wärmecapacität, wozu sich Platin vorzugsweise eignet, dem Einflusse dieser Verbindungen aussetzt, indem man ihn zugleich fähig macht, dieselben seinerseits zu befördern, so wird die erzeugte Wärme hierdurch sichtbar zum Vorschein kommen, wie dieses namentlich bei den Glühlämpchen der Fall ist. H. Davy[1] entdeckte dieses bei seinen Versuchen, die Explosionen des entzündlichen Gases der Kohlenminen zu verhüten, indem er fand, dafs heifsgewordene Gewebe von feinem Platindraht in solchen Gasarten zu glühen fortfuhren und wieder anfingen, wenn sie auch etwas abgekühlt waren. Andere explodirende Gasgemenge zeigten einen gleichen Erfolg, und ebenso die Dämpfe von Aether, Alkohol, Terpentinöl und Naphtha, unter denen die beiden ersten sich zu Versuchen am besten eignen. Giefst man daher einige Tropfen Aether in ein kaltes oder Alkohol in ein warmes Glas, und hält einige Windungen Platindraht von $\frac{1}{60}$ oder $\frac{1}{70}$ Zoll Durchmesser nach vorgängiger Erhitzung darüber, so werden diese zu glühen anfangen und fortfahren, bis die Flüssigkeit verdunstet ist, mit einem im Finstern sichtbaren zarten Lichte über dem Drahte und unter Erzeugung einer eigenen Säure. Der Versuch gelang ihm blofs mit Platin- und Palladiumdraht, welche beide eine geringe Wärmecapacität haben, . doch kann man statt des Drahtes auch dünne Bleche nehmen.

Die ursprüngliche Erfindung Davy's hat im Verlaufe der Zeit eine Menge Anwendungen und Abänderungen gefunden, wozu auch Döbereiner's[2] *Platinschwamm* und dessen *Feuerzeug* gehören, wovon wir aber hier nur die meisten und wichtigsten, mitunter blofs historisch, erwähnen wollen, da die Hauptsache, nämlich die Beziehung zur Wärmelehre, bereits (§. 134) aufgestellt worden ist. Erman[3] vergröfserte den kleinen Glühapparat bedeutend, indem er auf einen frisch abgeschnit-

---

1 Philos. Trans. 1817. p. 78. Journ. de Phys. T. LXXXVI. p. 308.

2 G. LXXIV. 269.

3 Berliner Denkschriften 1818. S. 362.

en Docht einen Ring von 4 Lin. öhe aus Gewinden des feinsten ıen Rost aus dünnem Platinblech 4 bis 5 concentrische Cylinder er oder geringerer Dicke, deren n Drahtenden ausgefüllt waren. Stichflamme einer Weingeistlam- gerieth der Weingeist ins Sieden, lete Schwamm in 2 Lin. Entfer- achte Wasser zum Sieden und nen Bleche eine Menge saurer ndungen von feinem Platindraht ı ihre Wirkung nicht blofs auf ınten Dämpfe, sondern auch auf ende Mischungen und leicht ver- ung auf verdampfenden Kampher s 1818, Strating[2] aber giebt Platinschwamm auf Kampher le- beim Glühen des Schwammes tglühn und der Kampher durch- t, dafs der Platinschwamm, wel- Knallgas zeigt, auf andere was- geringerer Kraft wirkt, als er- ereiner[3] bemerkt hat, Henry[4] e Einwirkung des Platinschwam- örmigen Mischungen, wozu noch n kann, dafs kleine Kügelchen ıchen Platin als *eudiometrisches*

Gelehrten erstreckten sich nicht Gasarten und Dämpfe, die sich Davy oder durch Platinschwamm offgas vereinigen lassen, sondern , welche andere Körper, wenn

. Avril. p. 195.
. XXIV. et XXVI.
p. 266. Vergl. Annals of Philos. T.

auch mit einigen Modificationen, die nämliche Wirkung her vorbringen. SCHÜBLER[1] fand, dafs Alkohol von 0,85 spe Gewicht 32° oder 38° C. Temperatur haben müsse, wenn sei Dampf dünnes Platinblech glühend erhalten sollte, und da andere Metalle sich hierzu nicht eigneten, Andern[2] gelang d Versuch mit Alkohol, Schwefeläther und Naphtha von Amian nur durfte der Aether nicht höchst rectificirt seyn, und Schwe felkohlenstoff entzündete sich selbst durch den glühenden Pl tindraht. V. YELIN[3] liefs ein Löckchen des feinsten Platin drahtes vermittelst eines Korkes auf Alkohol schwimmen, KAR MARSCH[4] stellte dasselbe sehr zweckmäfsig auf einen Doch welcher über den Rand eines kleinen Medicinglases hervor ragte, und erhielt befriedigende Resultate mit Weingeist, Ae ther, Terpentinöl, rectificirtem Petroleum, Bergamottöl un Kampher. Schon früher wollte JUCH[5] gefunden haben, da aufser Platin kein Metall die Erscheinung zeige, KARMARSCH aber erhielt dieselbe mit Silberdraht, jedoch nur schwer m Messing-, Kupfer-, Eisen- und Stahldraht; Golddraht ab schmolz augenblicklich. DÖBEREINER selbst fand[7], dafs auc andere fein vertheilte Metalle im Dampfe des absoluten Alko hols zu glühen fortfahren, als gepulverter Braunstein, Nickel staub oder Nickeloxyd, Kobaltstaub oder Kobaltoxyd, Uran oxyd, Zinnoxyd und andere; ja er bemerkte[8], dafs das etwa verkohlte Ende des Dochtes einer Weingeistlampe zu glühe fortfuhr, nachdem die Lampe aus Mangel an Weingeist erlo schen war; als er aber vorsichtig neuen absoluten Alkohol i die Lampe gebracht hatte, dauerte dieses Glühen 24 Stun den fort.

Mit gebührender Aufmerksamkeit wurden von den ver schiedensten Gelehrten die interessanten Eigenschaften des durch DÖBEREINER entdeckten Platinschwammes beachtet. Unter An-

1 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 199.
2 Bibliothèque univ. 1817. Févr.
3 Hermbstädt's Museum. Th. XV. Heft 2.
4 G. LXXV. 83.
5 Dingler's polyt. Journ. Th. I. Heft 1.
6 G. LXXV. 83.
7 Schweigger's Journ. Th. XXXIV. S. 91.
8 G. LXXIV. 274.

Thénard[1] seine Versuche schon
:kanntwerdung, und fanden, dafs
r Stückchen dieses Metalles bei
Explosion des Knallgases, wohl
n zu Wasser bewirken, und dafs
asse dem Platin in seiner Wir-
odium, Iridium, Osmium, Ko-
er aber nur durch höhere Tem-
ifühen. Selbst nichtmetallische
, Glas, Porcellan und Bergkry-
, den Siedepunct des Quecksil-
Temperatur in geringerem Grade
e in Beziehung auf diese Eigen-
Pleischl[2], Garden[3] nahm die
rch Iridium, Fischer[4] die durch
uch andere Gasgemenge, als gasför-
ffgas, ölbildendes Gas und Sauer-
isponirt werden sich zu verbinden,
sich aber in Wasser und Ammoniak
gas und Wasserstoffgas einer Ein-
ind, entdeckten Dulong und Thé-
suchen. So wurden also die inter-
und Döbereiner's überall, auch
nit der ihrer Wichtigkeit gebüh-
ommen, rücksichtlich ihrer Er-
wischen der elektrischen und der
iman[6] war geneigt, sich für die
hweigger[7] und im Ganzen wohl
Andere; allein die überwiegen-

XXIII. p. 442. T. XXIV. p. 380.
L. S. 229.

o. p. 466, Schweigger's Journ. Th.

n der schles. Ges. für vaterländ.

26. p. 46.
8. S. 270 u. 271.
XIX. S. 2.
1 ff.

den Gründe, welche für die letztere entscheiden, sind oben bereits nach Liebig angegeben worden. Ohne bei der anfänglichen Entdeckung stehn zu bleiben, hat Döbereiner[1] später die auf diese Weise statt findende unerwartet grofse Wärmeentbindung, welche sich bei dem fast noch wirksameren Iridmohr am auffallendsten dadurch zeigt, dafs dasselbe in feinster Pulverform auf mit Alkohol benetztes Papier gestreuet fast augenblicklich mit Zischen erglüht, so wie nicht minder die Bereitungsart der hierzu am meisten geeigneten Formen der entzündenden Metalle und die Zusammensetzung der erzeugten Producte mit gewohnter Gründlichkeit untersucht und auf die technische Bereitung des Essigs angewandt.

140) Zum Schlusse dieser Untersuchungen mögen hier noch einige nahe liegende Bemerkungen Platz finden. Wasserstoffgas und viel Wasserstoff enthaltende Körper, namentlich in Dampfform, zeigen ein vorzügliches Bestreben, sich mit Sauerstoff zu verbinden, wobei dann wegen grofser chemischer Energie Wärme in geringerem oder (meistens) in höherem Grade frei wird. Wenn man daher nach Döbereiner[2] Aether in eine Schale tröpfelt, die in siedendem Wasser steht oder durch siedendheifse Wasserdämpfe warm erhalten wird, so gewahrt man im Dunkeln eine sehr blasse, wenig leuchtende und nicht zündende Flamme. Die Tropfen rotiren, wie in Leidenfrost's Versuche, und der Geruch zeigt, dafs durch die Flamme *Sauerstoffäther* und *Aetherlampensäure* gebildet wird. Diesem ähnlich ist eine Beobachtung von Williams[3], dafs bei gewöhnlichen Kerzen, wenn man dem langen Dochte derselben etwas Fett zuführt, wodurch die Flamme wächst ohne vorhandene Verkohlung, und sie dann ausbläst, ein Phosphoresciren statt findet und eine Säure sich durch den Geruch kenntlich macht. Martens[4] giebt folgende Vorrichtung an, durch die ein Platinlöckchen lange glühend erhalten wird. Man nimmt eine Phiole von 2 bis 4 Pinten Inhalt mit weiter Oeffnung, erwärmt ihren Boden zwischen 30° bis 50° C., giefst

---

1 Schweigger-Seidel's n. Jahrbuch Th. III. S. 363. Vergl. Poggendorff's Ann. XXIV. 603.

2 Journal für praktische Chemie. N. I. S. 75.

3 Annals of Philos. T. VI. p. 44.

4 Bulletin de l'Acad. R. de Bruxelles. 1836. N. XI. p. 420.

inein, und senkt bis etwa 1 Zoll
tindrahtlöckchen aus Draht von
an einem dickeren Drahte be-
le in einem Stückchen Karte
selben hinab, dafs das Karten-
Ist das Löckchen vorher in einer
erhitzt, so fährt es fort zu glühn,
entsteht, wenn der Alkohol zu
eine nicht eben gefährliche Ex-
einige Stunden fort, wenn der
5° warm erhalten und zuweilen
n den innern Wandungen sam-
rzüglich wenn die Flasche oben
genäfste, Leinwand kalt erhalten
ine Lampensäure enthält[1]. Will
mmeln, sondern ist es blofs um
zu thun, so wählt man eine
Tubulus versehn ist, damit stets
und neues Sauerstoffgas zufüh-
ATHEN[2] endlich hat DÖBEREI-
onstruction einer *Lampe ohne*
tischen Lampe benutzt, und es
l, dafs diese unter allen angege-
. Die blofse Zeichnung derselben Fig.
, dafs es kaum einer Beschreibung 42.
ene Lampe mit einem obern, des
Ringe wird durch die Röhre E
itte erhebt sich eine kleine hohle
D befindet, den man am obern
den Rand legt. In seine Mitte
eckt, welcher am obern Ende die
rägt, die nach dem Entzünden
ingeists zu glühen fortfährt und
len übergestürzten Glaskegel A B

INER in Poggendorff's Ann. XXIV.

. N. XX. p. 359.
72.

141) Unter die dem Sauerstoff sehr verwandten und dal leicht verbrennlichen Körper gehört ferner der *Schwefel*, we cher eben daher in kleinen Massen häufig zur Entzündu kleiner Hölzchen dient; weil er aber das Sauerstoffgas in gr fser Menge sehr begierig aufnimmt und die sich in Damp gestalt verbreitende schweflige Säure, die beim Verbrenn desselben den erstickenden Geruch erzeugt, das vorhande Sauerstoffgas mit grofser Energie an sich reifst, um in Schw felsäure verwandelt zu werden, so wird dadurch der Proc des Verbrennens wieder gehindert und Schwefel, in gröfser Massen entzündet, erlischt daher von selbst. Wird er in kle nen Quantitäten im Sauerstoffgas entzündet, so gewahrt m sein starkes Verbrennen mit grellem weifsen, ins Blaue übe gehenden Lichte. Die *Kohle* gehört unter die am stärkst verbrennlichen Substanzen, weil sie den Sauerstoff mit grofs Begierde aufnimmt. Bei ihr kommt aber die Temperatur se in Betrachtung und zugleich auch der Aggregatzustand, wor sich der Kohlenstoff befindet. Ist letzterer ein lockerer, w beim Kohlenpulver und Kienrufs, so verbreitet sich das Bren nen begierig durch die ganze Masse; ist er aber ein fester, w bei den härtern Kohlen, dem Anthracit und noch mehr bei Diamant, so hat das Verbrennen grofse Schwierigkeiten, ur die Kohlen erlöschen von selbst, ungeachtet viel Kohlensto im lockeren Zustande enthaltende Körper, als Dünger, feucht Stroh u. s. w., zu den oben (§. 127) angegebenen Selbstzün dern gehören. *Diamant* dagegen und *Graphit*, obgleich fa reiner Kohlenstoff, sind im höchsten Grade unverbrennlic und können nur im Focus grofser Brenngläser oder im Knall gasgebläse verbrannt werden. Unter den *Metallen* haben ei nige eine so grofse Verwandtschaft zum Sauerstoff, dafs sie sic kaum oder gar nicht davon trennen lassen, andere verbren nen leichter, z. B. Wismuth, Antimon, *Eisen* u. s. w. Letz teres Metall hat eine durch Hitze sehr zu steigernde Verwandt schaft zum Sauerstoff, und verbrennt daher, wenn es weifs glühend gemacht ist, in einem starken Luftstrome von selbs Beyerley[1] in London entdeckte dieses und fand es auffallend dafs ein kalter Luftstrom eine solche Wirkung haben könne

1 Journal de Chimie médicale 1834. Avril. p. 212. L'Institut N XLII. p. 71. Poggendorff's Ann. XXXI. 496.

meldete die Thatsache an D'Arcet, welcher den Versuch mit Erfolg wiederholte, ja das Verbrennen eines weifsglühenden Eisenstabes mit Funkensprühen dauert fort, wenn man ihn schnell in der Luft herumschwingt. Beide Methoden, entweder einen starken kalten Luftstrom gegen das Eisen zu blasen, oder dasselbe schnell in der Luft herumzuschwingen, sind seitdem mit günstigem Erfolge mehrseitig durch Richard Phillips und Robert Addams wiederholt worden[1], jedoch mufs das Eisen sehr stark weifsglühen, um im Zustande des Verbrennens zu bleiben und stark Funken zu sprühen, weil es im Gegentheil sonst schnell erkaltet. Die Ursache liegt offenbar darin, dafs stark weifsglühendes Eisen grofse Affinität zum Sauerstoff hat und daher durch rasches Verbrennen die abkühlende Wirkung des Luftstroms aufhebt. Die äufserste Grenze bildet wohl ohne Zweifel das Platin, welches zwar im Knallgasgebläse mit Funkensprühen im Flufs bleibt, aber dennoch seinen Metallglanz nicht verliert.

142) β) Die zweite Bedingung des Verbrennens, in der hier genommenen engeren Bedeutung, ist die *Menge des vorhandenen oder entwickelten Sauerstoffgases.* Ist gar kein Sauerstoffgas vorhanden und der Zutritt desselben gänzlich abgeschnitten, so ist schon der Natur der Sache nach gar kein Verbrennen, auch selbst der verbrennlichsten Substanzen, mehr möglich und selbst Phosphor, Kalium, so wie die sonstigen leichtverbrennlichsten Substanzen können daher im reinen Stick- und Wasserstoffgas nicht verbrannt werden. Für Wasserstoffgas läfst sich dieses durch einen artigen Versuch anschaulich machen. Füllt man eine etwas grofse gläserne Flasche mit kurzem Halse und etwas weiter Oeffnung voll Wasserstoffgas, und hält man sie mit der Mündung nach unten gekehrt so, dafs das leichtere Gas in ihr ohne eindringende atmosphärische Luft bleibt, so kann man mit einer brennenden Kerze das Gas am unteren Rande der Oeffnung entzünden; im Innern der Flasche wird die Kerze erlöschen, beim Herausziehen aber an dem unten fortbrennenden Wasserstoffgas wieder entzündet werden, und so kann man dieses Entzünden und Auslöschen mit Vorsicht etliche Male wiederholen, mufs

---

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXVIII. p. 407. N. LXIX. p. 46. Bibl. univ. 1838. Janv. p. 195.

dann aber die Mündung der stets lothrecht gehaltenen Flasc wieder unter das Sperrwasser bringen, um eine sonst erfolgen Explosion zu vermeiden. Füllt man umgekehrt ein etwas we tes Glas mit Kohlensäure und bedeckt man dasselbe vor de Wegnehmen aus der pneumatischen Wanne mit einer gen schliefsenden Glasplatte so, dafs es sich umkehren und Platte wegziehen läfst, ohne Eindringen von atmosphärisc Luft, so wird die Flamme einer in das schwerere Gas ei gesenkten Kerze erlöschen, ja das schwerere Gas läfst sich Vorsicht aus dem ersten Glase in ein zweites giefsen und diesem der Versuch wiederholen. Ebenso wird ein Stück Ph phor in einem kleinen Platinlöffel liegend, wenn man schnell in die Mitte der grofsen und breiten Flamme ei Weingeistlampe bringt, zwar schmelzen und stark verdampf sich aber nicht entzünden, weil die umgebende Flamme al von aufsen zuströmende Sauerstoffgas verzehrt. Aus gleicl Ursache ist der leicht zu verkohlende Docht einer Kerze m ten in der Flamme schwarz und nicht glühend, denn nirgen sagt Lichtenberg, um durch einen paradoxen Ausdruck Sache anschaulicher zu machen, findet das Verbrennen wenig statt, als mitten in einer brennenden Flamme. Blofs das me hervorragende Ende des Dochtes fängt an zu glühen und m weggeschnitten werden, wenn es zu lang ist. Walke schlug daher vor, man solle die Unschlittkerzen nicht gera stellen, sondern in einem Winkel von 30° gegen die Vertic geneigt, damit der aus der Flamme herausstehende Docht du Zutritt von Sauerstoffgas verzehrt und das lästige Schneuz überflüssig würde. Ebendaher können Körper, die bereits Sauerstoff gesättigt sind, als Wasserdämpfe, Metalloxyde, Erd u. s. w., zwar zum Glühen gebracht, geschmolzen und verflüc tigt werden, aber ein Brennen derselben ist unmöglich.

Es liegt sehr nahe bei der Sache, dafs Zuführung v Luft, noch mehr aber von Sauerstoffgas, das Brennen erhöh mufs, weil dadurch die nothwendig erforderliche Bedingu desselben verstärkt und somit die Wirkung erhöhet wi Hierher gehören die Versuche der Londoner Societät, wona auf einer glühenden Kohle, wogegen ein Strom Sauerstoffg

1 Bibliothèque britann. T. XXV. p. 352. Nicholson's Journ. III. p. 272. G. XIII. 240.

geblasen wird, Diamant sich verflüchtigt, Wedgwood'sche Thonkügelchen schmelzen und aus Kieselerde bestehende Fossilien, z. B. Amethyste, Sapphire, Topase, Rubine, Granaten u. s. w., sich in Fluſs bringen lassen[1]. Hieran schlieſst sich *Marcet's Lampe*[2] und das *Knallgasgebläse*, jedoch kann ich dem, was hierüber bereits gesagt worden ist[3], nichts Wesentliches hinzusetzen, wenn ich auch die weiteren Versuche von Silliman[4] und Murray[5] noch erzählen wollte. Eine minder intensive Wirkung erzeugt freier Zutritt der atmosphärischen Luft, besser ein künstlicher Luftstrom, und dieses führt dann zu der Betrachtung der verschiedenen Gebläse vom einfachen *Löthrohre* der Mineralogen bis zu den groſsen Gebläsen der Hohöfen, wovon bereits gehandelt worden ist[6]. In Beziehung auf das Löthrohr möge hier noch erwähnt werden, daſs seitdem zwei Vorschläge gemacht worden sind, das nur für Einige, für die Meisten nicht beschwerliche anhaltende Blasen aus den Lungen zu vermeiden. Dan...[7] räth, die zum Ausströmen der Luft bestimmte Spitze in eine Thierblase zu stecken und letztere durch ein anderes ...eingehendes Rohr mit Luft zu füllen, zugleich aber, um einen stärkeren Luftstrom zu erhalten, die Blase durch vier herübergezogene Schnüre mit Gewichten zu pressen; eine etwas weitläuftige und unbequeme Einrichtung. Zweckmäſsiger ist ... Vorschlag von K. T. Kemp[8]. Hiernach wird die Luft durch das Rohr D in das Gefäſs AB geblasen, und ihre Rückströmung durch das Quecksilber d im inneren Behälter E gehindert, so daſs sie dann einige Zeit, allerdings aber mit abnehmender Stärke, aus dem Röhrchen C gegen die Flamme der Lampe bläst. Fig. 48.

143) γ) Eine dritte Bedingung, die auf das Verbrennen

1 Tilloch's philos. Magaz. T. VIII. p. 21. 262. 322. Scherer's ... Th. VIII. S. 501.
2 S. Art. *Gebläse*. Bd. IV. S. 1158.
3 S. ebend. S. 1159. Vergl. The Gasblow-pipe, by Clarcke. Lond.

4 Aus Amer. Journ. of Science in Tilloch's philos. Mag. T. L. ...9.
5 Tilloch's philos. Mag. T. XLVIII. p. 433. T. XLIX. p. 47.
6 S. Art. *Gebläse*. Bd. IV. S. 1133 ff. Vergl. Laboratorium. Ht. I. ...er's polyt. Journ. Th. XXXVIII. S. 123.
7 Journ. de Pharmac. 1829. Janv. p. 12.
8 Edinburgh New Phil. Journ. N. XII. p. 340.

einen nicht geringen Einflufs äufsert, ist eine gröfsere Ausbreitung der verbrennlichen Substanzen in der Art, dafs sie dem Sauerstoffgas mehr Oberfläche darbieten und dadurch den Zutritt desselben erleichtern. Hierher gehörige Erscheinungen giebt es in Menge; ihre Erklärung ist aber durchaus nicht schwierig. Grofse Massen Schwefel erlöschen von selbst, kleine an Hölzchen setzen diese in Brand; ebenso verhalten sich grofse Massen Pech, statt dafs Pechfackeln und Pechkränze begierig verbrennen. Wachs, Oel, Unschlitt u. s. w. lassen sich in Massen nicht entzünden, werden sie aber in kleinen Quantitäten durch die Capillarität der Dochte gehoben und mit grofser Oberfläche der Flamme dargeboten, so unterhalten sie diese fortwährend. Zweckmäfsig machte daher ALSTRÖMER[1] die Lampendochte bandförmig, und eine grofse Verbesserung war die des Bürgers D'ARGAND aus Genf, dem aus einem hohlen Cylinder bestehenden Dochte von beiden Seiten frische Luft zuzuführen. Ein die Sache erläuternder interessanter Versuch läfst sich anstellen, wenn man kleine sehr dünne Scheibchen von einer Stange *Phosphor* abschneidet und auf Baumwolle legt. Bei mittlerer Temperatur von etwa 15° C. schmelzen diese durch eigene Wärme zu kleinen Kügelchen und gerathen in Brand, besonders wenn man sie mit einem kleinen Hölzchen etwas aus einander zieht, während die daneben liegende Stange blofs verdampft, ohne in Brand zu gerathen.

144) δ) Wo nicht die wesentlichste, doch eine der wichtigsten Bedingungen des Brennens ist die *Temperatur*, wie schon daraus von selbst folgt, dafs die Wärme nicht nur überhaupt von grofsem Einflusse auf chemische Verbindungen ist, sondern auch namentlich die Verwandtschaft des Sauerstoffs zu den verbrennlichen Körpern erhöhet, jedoch bei den verschiedenen auf ungleiche Weise. Sehr hervorstechend ist dieses vorzüglich bei den Metallen, deren Oberfläche in höheren Temperaturen oxydirt wird und dadurch verschiedene Farben annimmt, das sogenannte *Anlaufen;* vorzugsweise aber zeigt sich dieses beim Eisen, welches nach der Dicke der oxydirten Oberfläche strohgelb, orange, blau und violett wird, überhaupt aber in einer Temperatur von etwa nur 200° bis 300° C. sich so schnell oxydirt, dafs es eben daher zu Apparaten, die in solcher Wärme

1 Schwed. Abhandl. für d. Jahr 1784. N. XXII.

angewandt werden sollen, sich
g, Zink und Silber verhalten sich
peraturen, die vom Puncte ihres
hen, beim Eisen aber wird die
durch Hitze so gesteigert, daſs
ens selbst das Kali zerlegt. So
uerstoffgas nur dann, wenn man
s meistens durch ein aufgesteck-
Schwamm geschieht, aber auch
henschlag bewirkt werden kann.
n, einzeln im Zustande des Glü-
n gelegt, erlöschen, ächte Stein-
Luft; wird ihnen aber in gröſse-
e nicht entzogen, so verbrennen
t der Diamant unter einer mit
durch den Focus groſser Brenn-
rden, so verbrennt er von selbst[1],
höchst wichtigen Versuch ein ei-
angegeben worden ist. Oel brennt
peratur; ist es aber bis auf etwa
so brennt es mit groſser Heftigkeit
worauf die Gefahr bei der Be-
er Buchdruckerschwärze durch

ng hat diese Aufgabe viel Auf-
geführten Streit erregt. Theo-
n Satz auf, daſs die Verbrenn-
e der Luftverdichtung abhänge
von etwa 35000 Fuſs gar kein
rde. Nach weiteren Versuchen
Gemenge aus Hydrogengas und
schem Drucke leicht durch den
asse, keineswegs aber bei einer

von Landriani in Ann. de Chimie
S. 428 und den späteren von H.
weigger's Journ. Th. XII. S. 200.
72.
C. p. 615.
2.
S. 130. Vergl. G. LVIII. 345.

nicht genau angegebenen, ungefähr aber das Sechsfache errei chenden Verdünnung, worauf er den Schlufs gründete, da manche nicht leicht verbrennliche Körper, namentlich Gas unter stärkerem atmosphärischen Drucke verbrennen würde. Als er eine Mengung aus Wasserstoffgas und Luft durch Hitz ausgedehnt hatte, war es ihm unmöglich, durch einen elektr schen Funken Entzündung hervorzubringen, auch entzünde sich dasselbe nicht durch einen genäherten brennenden Spah, worauf er den Schlufs gründete, dafs das etwa 4- bis 5m durch verminderten Druck oder Hitze ausgedehnte Wasserstoff gas weder durch den elektrischen Funken noch durch ei Flamme entzündet werden könne. Aufser einigen andern entnim er hieraus auch die Erklärung, warum das Wasserstoffgas in Be rührung mit atmosphärischer Luft nicht durch eine glühen Kohle, sondern nur durch einen flammenden Körper entzünd werden könne. Wie Grotthuss diese Aufgabe noch weit verfolgte und mit anderweitigen Naturgesetzen in Einklan zu bringen suchte[1], scheint mir überflüssig, hier auseinande zusetzen.

146) Bald nachher, als diese Resultate bekannt geword waren, stellte H. Davy seine Untersuchungen über die Mitt an, die Entzündung der schlagenden Wetter in den Bergwerk zu hindern, die ihn dann zur Erfindung seiner *Sicherheitslam* führten[2], wozu er nicht, wie zur Entdeckung der Metalloid durch zufällige Anwendung eines nur Wenigen zu Gebote ste henden mächtigen Apparates, sondern durch scharfsinnige Com binationen gelangte. Zuerst leitete ihn die Erfahrung, da entzündliche Gasarten nicht explodiren, wenn sie aus einem Röh chen von 0,2 Zoll Durchmesser ausströmend am Ende desse ben verbrennen, und er betrachtete dieses als eine Folge d Abkühlung durch das Metall, woraus er dann weiter folger dafs man nur für genügende Abkühlung sorgen müsse, um d Entzündung solcher Gasarten zu hindern. Fortgesetzte Unter suchungen zeigten dann wirklich, dafs ein Drahtgeflecht von Me singdraht 0,02 Zoll dick mit 100 Oeffnungen auf einen Qu dratzoll einem Gemenge von 1 Th. Kohlenwasserstoffgas un 12 Th. atmosphärischer Luft die Entzündung mittheilte, wer

1 Schweigger's Journal. Th. IV. S. 238. Th. IX. S. 327.
2 S. Art. *Lampe*. Bd. VI. S. 62 ff.

es heiſs wurde oder wenn man eine damit umgebene Lampe in der Mengung bewegte; enthielt dagegen ein solches Geflecht 196 Oeffnungen auf einen Quadratzoll, so fand die Entzündung erst beim Rothglühen, aber nicht bei der Bewegung statt. Ein Geflecht von Eisendraht, $\frac{1}{40}$ Zoll dick und 240 Oeffnungen auf 1 Quadratzoll enthaltend, sicherte so lange, als es nicht stark rothglühend wurde, war dasselbe aber von $\frac{1}{50}$ Zoll dickem Eisendrahte verfertigt und 576 Oeffnungen auf 1 Quadratzoll enthaltend, so fand bei der stärksten Zuströmung aller Arten von Mengungen der entzündlichen Gasarten, selbst bei starker Glühhitze, keine Explosion statt, ja sogar Knallgas entzündete sich nicht, wenn die Flamme der Lampe von einem solchen Gewebe aus Messingdraht umgeben war, obgleich das Drahtgeflecht weiſs glühete und der Versuch zur Verhütung seines Schmelzens abgebrochen werden muſste[1].

H. Davy[2] unterstützte die hieraus entlehnte Folgerung, als die Abkühlung das Entzünden selbst der verbrennlichsten Körper, sogar der explodirenden Gasgemenge, unmöglich mache, durch eine weitere Reihe interessanter Versuche. Legt man einen einfachen Baumwollenfaden in Oel[3] und entzündet man ihn auf der Oberfläche desselben, so erhält man ein Flämmchen von $\frac{1}{30}$ Zoll Durchmesser. Biegt man einen Eisendraht von $\frac{1}{180}$ Zoll Dicke[4] in einen Ring von $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser und schiebt ihn über das Flämmchen, so wird er dieses auslöschen, so lange er kalt ist, nicht aber dann, wenn er durch dieselbe genügend erhitzt ist; ein gleicher gläserner Ring löscht die Flamme nicht aus, auch wenn er noch keine höhere Temperatur angenommen hat, woraus hervorgeht, daſs die Ursache im ungleichen Ableitungsvermögen liegt. Nähert man ein metallenes Knöpfchen von $\frac{1}{20}$ Z. Durchmesser dem Flämmchen bis auf die Weite seines Durchmessers, so wird sie verlöschen, wenn jenes nicht einen bedeutenden Hitzegrad besitzt.

1 Philos. Trans. 1816. p. 1 ff.
2 Ebendaselbst 1817. p. 71 ff.
3 Bequemer bedient man sich hierzu ganz dünner Wachskerzen, die man in Glasröhren selbst gieſsen kann.
4 Bequemer ist es, statt eines so dünnen Drahtes einen dickeren von etwa 0,8 Lin. Durchmesser anzuwenden.

147) Diesen ähnliche Versuche machte G. OSWALD SYM [1] und zwar nicht mit einem Faden im Oel, sondern mit kleinen sehr dünnen Wachskerzen. Hält man in die Flamme derselben einen einzelnen Draht, so wird der obere Theil derselben vermindert, und dieses zunehmend, wenn man zu mehreren Drähten und zu stets engeren Geflechten übergeht. Hält man über die durch ein Metallgeflecht unterbrochene Flamme die Hand oder ein Thermometer, so gewahrt man nach Wegnahme des Geflechtes sofort eine gröfsere Wärme. Die Verminderung der Wärme dauert jedoch blofs so lange in ihrer ganzen Stärke fort, bis das Netz glühet, doch kann die Hitze über dem Geflechte nie höher, als die des Geflechtes ist, steigen, wonach also bis zu einer gewissen Grenze das Entflammen der Gasarten aufserhalb des Geflechtes unmöglich bleibt. Wird das Metallnetz horizontal in die Flamme gehalten, so wird sie dadurch abgeschnitten, wobei ein Theil des verflüchtigten Wachses durch das Geflecht entweicht, sich zum Theil an dasselbe legt, zum Theil über demselben verbrannt werden kann, so dafs die Flamme hiernach aus zwei Theilen mit einem mittleren nicht glühenden, folglich dunklen, besteht [2]; ja es läfst sich sogar eine Flamme durch zwei, etwas mehr als 0,5 Z. von einander abstehende, Drahtgeflechte in drei Theile theilen. Fehlt der oberste Theil der Flamme, so gewahrt man, von oben herabsehend in derselben am deutlichsten einen dunklen Cylinder, welcher auch im gewöhnlichen Zustande in der Flamme vorhanden zu seyn pflegt und den man für verflüchtigtes Wachs hält. Die Flamme einer Argand'schen Lampe, durch ein Drahtgeflecht in der Mitte durchschnitten, giebt daher zwei leuchtende, einen mittleren dunklen umgebende concentrische Ringe, indefs fehlt der dunkle Theil der Flammen bei allen mit Sauerstoffgas gemischten brennbaren Gasarten, weswegen diese auch einen weit höheren Grad der Hitze und des Leuchtens geben.

1 Annals of Philos. T. VIII. p. 321. Biblioth. univ. T. IV. p. 165. Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 385. Die Einwendungen, welche MURRAY (s. G. LXIX. 236) hiergegen gemacht hat, und die von ihm gegebene Erklärung scheint mir nicht bedeutend genug, um hier besonders erörtert zu werden. Dieses dürfte auch der Fall seyn mit den Zweifeln, die GROTTHUSS ebend. S. 241 dagegen aufgestellt hat.

2 Mit einem kleinen Drahtringe läfst sich dieser Versuch leicht auf eine interessante Weise anstellen.

148) H. Davy[1] wandte die eben erwähnten Thatsachen dazu an, den durch Grotthuss aufgestellten Satz, dafs das Verbrennen, namentlich der Gasarten, durch Verdünnung unmöglich werde, zu widerlegen, und stellte ihm einen andern entgegen, dafs nämlich die Verbrennung durch die Temperatur bedingt sey. Er brachte ein Gefäfs, worin Wasserstoffgas entwickelt wurde und an der Oeffnung einer feinen Spitze mit einer $\frac{1}{6}$ Zoll hohen Flamme verbrannte (*lumen philosophorum*), unter einen Recipienten von 200 bis 300 Kubikzoll Inhalt. Beim Exantliren bis zur fünffachen Verdünnung nahm die Flamme zu[2], dann aber bis zur achtfachen ab, wobei sie erlosch. Dafs die Ursache hiervon nicht am Mangel des Sauerstoffgases lag, zeigte sich, als er das nämliche Gefäfs mit gröfserer Flamme anwandte, wobei die Spitze glühete und die Verdünnung der umgebenden Luft deswegen bis zur zehnfachen getrieben wurde, ehe die Flamme erlosch. Demnächst wickelte er um die Ausströmungsspitze des Gases einen Platindraht, dessen Ende in die $\frac{1}{6}$ Zoll hohe Flamme endigte und daselbst glühend wurde, worauf sich die Verdünnung bis zur zehnfachen bringen liefs, indem die Flamme unten erlosch, am glühenden Platindraht aber weiter brannte, bis zur dreizehnfachen Verdünnung. Der hierauf gegründete Schlufs, dafs alle Körper nach Verhältnifs ihrer leichtern Entzündlichkeit und gröfseren erzeugten Hitze im stärkeren Vacuum verbrennen würden, fand vollkommene Bestätigung, indem Schwefel in 20fach, Phosphor nach van Marum in 60fach verdünnter Luft noch brannte, Phosphorwasserstoffgas aber im stärksten Vacuum einer Nairne'schen Luftpumpe noch einen Lichtschein gab. Daher entzündete sich auch bis zum 18fachen verdünntes Knallgas noch durch den elektrischen Funken, wenn die damit gefüllte Röhre bis nahe zum Schmelzen des Glases erhitzt war. Davy glaubt daher sich gegen die Ansicht von Higgins, Berthollet und anderen annehmen zu müssen, dafs die Entzündung der verbrennlichen Gasmischungen durch den elektrischen Funken nicht von der Verdichtung des Ganzen oder eines Theils derselben in

1 Philos. Trans. 1817. p. 45. G. LVI. 225.

2 Ohne Zweifel war hierbei die erleichterte Entwickelung des Wasserstoffgases mitwirkend; auf jeden Fall darf dieser Umstand nicht übersehen werden.

Folge einer Ausdehnung eines andern Theiles durch Hitze ab zuleiten sey, sondern lediglich von der Erhitzung, welche Ur sache auch die Entzündung des Knallgases durch Compressio herbeiführe. Die Erscheinungen, worauf GROTTHUSS sein Folgerungen gebauet hatte, daſs die Entzündung der verbrenn lichen Gase durch ihre Ausdehnung gehindert werde, erklär DAVY auf eine ganz andere Weise, indem er annahm, daſs di Entzündung nicht in Folge der Ausdehnung, sondern der bei gemengten Wasser- und Quecksilberdämpfe ausgeblieben sey wonach also der ganze Beweis ungültig werde. DAVY dehnte, um dieses zu beweisen, Knallgas über trocknem Quecksilber bi zum 2,5fachen seines Volumens durch Hitze aus, machte dan das Ende der Röhre rothglühend, und es erfolgte sogleich Ex plosion. Wurde Knallgas langsam durch eine lange stark er hitzte Glasröhre geleitet, so erfolgte die Explosion vor de Rothglühen derselben. Eine glühende Kohle soll nach GROTT HUSS das Knallgas bloſs ausdehnen, aber nicht entzünden, allei nach DAVY findet die Entzündung allerdings statt, wenn d Kohle hinlänglich glühet und frei von Asche ist[1]; glühet s dagegen weniger, so erfolgt eine langsame Verbindung d Gases zu Wasser. Um das aufgestellte Argument noch meh zu unterstützen und zu zeigen, daſs in den Versuchen v GROTTHUSS die Beimischung heterogener expansibeler Flüssig keiten, nicht aber die Ausdehnung, die Entzündung gehinde habe, zeigte DAVY, daſs die Explosion des Knallgases dur einen kräftigen elektrischen Funken in Folge der Beimischu von 8 Theilen Wasserstoffgas, 9 Th. Sauerstoffgas, 11 Th. Sa petergas, 1 Th. Kohlenwasserstoffgas, 2 Th. Schwefelwasse stoffgas, 0,5 Th. ölerzeugendes Gas, 2 Th. salzsaures Gas, 1,2 T kieselhaltiges fluſssaures Gas aufgehoben werde. Aus der Dicl tigkeit und specifischen Wärmecapacität dieser Gasarten lä sich dieses Verhalten nicht erklären, indeſs vertragen diejenig Gasarten, welche eine geringere Hitze zu ihrer Entzündu bedürfen, eine gröſsere Menge zugesetzter Gasarten, ohne d ihre Explosion gehindert wird. So werden z. B. gleiche The Chlor- und Wasserstoffgas nach Beimischung von 18 Theil Sauerstoffgas noch entzündet, aber Kohlenwasserstoff- u Sauerstoffgas im gehörigen Verhältniſs, nämlich 1 und 2, g

---

1 Dieses bestätigen die Erfahrungen PARROT's in G. LXIII. 76

mengt werden schon durch Beimischung von 3 Theilen Sauerstoffgas an der Explosion gehindert. Wasserdampf mußte in großer Menge der Luft beigemischt seyn, wenn er das Brennen des Schwefels hindern sollte. Knallgas wurde noch durch den elektrischen Funken entzündet, obgleich ein fünffaches Volumen Wasserdampf beigemischt war, kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas mit Luft gemischt erforderte $\frac{1}{4}$ seines Volumens Wasserdampf und nur $\frac{1}{2}$ Stickgas, um die Explosion zu hindern[1]. Endlich fand Davy, daß ein durch die Volta'sche Säule weißglühend gemachter Eisendraht und glühende Kohle in 5mal verdichteter Luft nur wenig stärker brannten, als in gewöhnlicher dichter, auch nicht zu brennen fortfuhren, wie im Sauerstoffgas, woraus er folgert, daß die Verbrennung in allen Höhen über der Meeresfläche und bei jedem Barometerstande auf gleich gute Weise vor sich gehe.

149) Man bewundert in der That den Fleiß bei der Anstellung dieser vielen Versuche und den Scharfsinn bei der Combination der erhaltenen Resultate in dieser classischen Arbeit des berühmten Britten. Sofern aber noch neuerdings mitunter geäußert worden ist, die durch v. Grotthuss aufgestellten Sätze seyen wohl noch nicht vollständig widerlegt, könnte man vermuthen, das unparteiische kritische Urtheil sey durch die überwiegende Masse der von seinem Gegner aufgehäuften Thatsachen gleichsam erdrückt und befangen gemacht, indeß muß genaue Prüfung doch die Entscheidung zu Gunsten seines überlegenen Gegners wenden. Abgerechnet daß durch Davy's Versuche der Grund der unrichtigen Ansicht, wozu v. Grotthuss geführt wurde, nachgewiesen worden ist, und daß die Versuche des letzteren weder so zahlreich noch so genau und allseitig genügend begründet sind, steht seinem Satze schon das allgemeine Argument entgegen, daß die chemischen Anziehungen ungleich mächtiger, als mechanische Mittel wirken. Sofern wir das Verbrennen im Allgemeinen als eine Folge des Chemismus betrachten und dieser durch Wärme so bedeutend verstärkt wird, erwächst hierdurch ein neues gewichtiges Ar-

[1] Waldie in seinen Untersuchungen über die Flamme gelangt zu dem Resultate, daß unverbrennliche Gasarten das Verbrennen im Verhältniß ihrer Dichtigkeiten hindern und daß diese hindernde Wirkung eine Folge der größeren Diffusion der Flamme in den dichteren Gasen ist. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 93.

gument. Allerdings scheint der Versuch mit dem Tachopyric für Grotthuss zu entscheiden, allein es folgt hieraus blofs d Erzeugung der Wärme, nicht aber das leichtere Verbrenn durch Compression. Dagegen beweiset die neuere Erscheinu mit Döbereiner's Platinschwamm, dafs die durch Compressi des Knallgases erzeugte Hitze hinreicht, um dasselbe zu entzün den, und dafs es eben die erhöhete Wärme ist, welche d Vereinigung beider Gase zu Wasser herbeiführt.

150) H. Davy entnahm aus seiner Theorie die Constru ction der nach ihm benannten *Sicherheitslampen*[1] (Lampe de Sûreté; *Savety-Lamps*). Hierüber möge hier noch nach träglich bemerkt werden, dafs die Construction derselben zw verschiedentlich abgeändert worden ist[2], ohne jedoch im Wesentli chen von dem die Sicherung bedingenden Principe abzuweiche Inzwischen hatte schon Davy bemerkt, dafs seine Lampe nic schützt, wenn die schlagenden Wetter sehr bewegt sind, we dann die Flamme durch die Oeffnungen des Geflechtes getrie ben wird. Dr. Gurney[3] zeigte später durch Versuche, da bei einer Geschwindigkeit des bewegten Gases von 5 engl. Fu in 1 Sec. die Geflechte von 120 bis 140 Oeffnungen auf Quadratcentimeter von der Flamme durchdrungen werden, u Combes führt mehrere Beispiele an, dafs Explosionen auf die Weise statt fanden. Ein englischer Bergmann, Roberts, g daher den Lampen die Einrichtung, dafs er sie von aufsen i einen gläsernen Cylinder einschlofs, unten aber einen abgekürz ten hohlen Kegel von Kupfer anbrachte, durch dessen ober etwa einen Zoll weite Oeffnung die Flamme aufsteigt, desse untere Fläche aber durch Metallgaze geschützt ist. Auch Ba ron Du Mesnil[4] in Birmingham läfst diese Lampen aus eine Cylinder von Flintglas verfertigen, welcher durch 12 Eisen stäbchen geschützt ist und unten zwei durch Drahtgeflechte ver schlossene Oeffnungen, oben aber einen offenen, nur mit eine gebogenen Bleche bedeckten Schornstein hat. Verbrennt da unten einströmende Kohlenwasserstoffgas, so fängt der gläsern Schornstein an zu tönen und zeigt dadurch dessen Anwesen-

1 H. Davy on the Savety-Lamp. Lond. 1818.
2 S. Laboratorium. Ht. XXV. Taf. XCIX.
3 L'Institut. 1836. N. 186.
4 Froriep Notizen. N. XI. S. 21.

eit[1]. Im Allgemeinen scheint jedoch die ursprüngliche Einchtung in der praktischen Anwendung beibehalten worden zu seyn, nd den eben angegebenen Constructionen steht auch offenbar s leichte Zerspringen und die Zerbrechlichkeit der Glascylinr entgegen[2]. Eine eigenthümliche Anwendung des durch AVY aufgefundenen Schutzmittels gegen die Einwirkung der amme hat ALDINI[3] in Vorschlag gebracht, indem er rieth, Personen, welche bei Feuersbrünsten die Spritzen bedienen r Sachen aus brennenden Häusern retten, so wie diese Saen selbst mit einem Drahtgeflechte zu umgeben. Unter eia solchen Panzer sollten die Personen außerdem mit einer leidung von Amianth oder noch besser von vielfachem, ch Salmiak und Borax unverbrennlich gemachten Wollenge[4] umgeben seyn. Einige höchst gefährlich scheinende suche, um dieses Mittel zu prüfen, gaben sehr genügende ultate.

151) Endlich möge hier noch bemerkt werden, daſs die kung der Drahtgeflechte nach LIBRI[5] nicht auf der durch erzeugten Abkühlung, sondern auf einer Repulsion derselben n die Flamme beruhen soll, weil die Wärme allgemein lsiv wirke. LIBRI gründet diesen Widerspruch gegen die bare Theorie hauptsächlich auf die Versuche DEUCHAR's[6], ach die Flamme der zum Entzünden des Schieſspulvers von m angewandten explodirenden Gemenge selbst durch 12 llgewebe auf eine Strecke von ungefähr 3 Fuſs hindurch-, und auf seine eigenen Beobachtungen, daſs die Flammen um einen ihnen genäherten Körper ohne Einfluſs seiner meleitung umbiegen. POGGENDORFF mit seinem gewohn-

---

Vergl. Art. *Harmonica, chemische.* Bd. V. S. 97.

Eine reichliche Nachlese zu dem, was hierüber bekannt geworst, findet man in den jetzt erschienenen Abhandlungen, welche en von der Societät zu Brüssel für das Jahr 1840 ausgesetzten concurrirten und in einem Bande vereint sind, unter dem Titel: Des s de soustraire l'exploitation des mines de houille aux chances losion. Recueil de mémoires et de rapports publié par l'Acad. des sciences et belles lettres de Bruxelles. 1840. 8.

Bibliothèque univ. T. XXXVII. p. 159. Ann. de Chim. et Phys. LII, p. 214.

Nach einem Vorschlage in Ann. de Chim. T. XVIII. p. 211.

Biblioth. univ. T. XXXIV. p. 178. Poggendorff's Ann. X. 294.

Annals of Philos. New Ser. T. I. p. 93. 206.

ten Scharfsinn bemerkt, daſs sich gegen die aufgestellte ne Hypothese manches einwenden lasse, was auch allerdings d Fall ist. Zuvörderst hat Davy ausdrücklich bemerkt, daſs di schützende Kraft der Metallgeflechte durch Bewegung der Lu geschwächt oder ganz aufgehoben werde, und so darf es nicht auf fallen, daſs die mit auſserordentlicher Geschwindigkeit fortge schleuderte glühende Luft der explodirenden Mengungen ohn Abkühlung die Gewebe durchdringt und zündet. Wenn abe Deuchar's Versuche gegen Davy's Hypothese beweisend wä- ren, so müſsten sie es auch gegen Libri's seyn, denn es is nicht abzusehen, wenn ein einzelner Draht Repulsion ausüb warum dieses nicht noch mehr durch 12 Geflechte geschehe sollte, und zwar um so mehr, da die Repulsion eine steti wirkende Kraft ist, die Abkühlung aber auf jeden Fall Zei erfordert. Wenn aber ferner die Wärme der Flamme repulsi wirkt, so muſs dieses durch die Wärme der ihr genäherte Körper noch mehr geschehen, und die Abstoſsung müſste dahe mit der Erhitzung der genäherten Körper wachsen, was Libri nicht gefunden zu haben gesteht; andere bekannte Versuch zeigen aber, daſs genügend erhitzte Geflechte die Flamme wirk- lich durchlassen, wodurch die neue Hypothese direct widerleg wird. Endlich läſst sich die Repulsivkraft der Wärme zwa nicht in Abrede stellen, allein sie wirkt nur auf verschwindend Entfernungen, wie schon daraus hervorgeht, daſs die heftigs weiſsglühenden Theile vieler Körper, z. B. der Kreide im Knallgasgebläse, sich nicht abstoſsen, indem sie vielmehr zu- sammenschmelzen oder zusammensintern. Das Umbeugen de Flamme um genäherte Körper ist übrigens leicht erklärlich sobald man nicht übersieht, daſs die sie bildenden brennende Gasarten in stark aufsteigender Bewegung sind und daher vo genäherten Körpern zurückgestoſsen werden.

152) An die Betrachtung, daſs das Brennen hauptsächlich durch die Temperatur bedingt werde, läſst sich noch eine nicht unwichtige Untersuchung knüpfen, nämlich über die Wirkung der heiſsen Luft bei Schmelzöfen. Neilson[1], in der Nähe von Glasgow, erhitzte zuerst die Gebläseluft in eisernen Röhren und erzielte dadurch eine bedeutende Ersparung an Brennmate-

1 Poggendorff's Ann. XXXIV. 164. Biblioth. univ. de Genève. T. VII. p. 429.

ial, weswegen dieses Verfahren sofort auf den schottischen Hütten und bald nachher auch, in Folge schneller Bekanntwerdung, sehr allgemein nachgeahmt wurde. Gegenwärtig gilt es für eine vielseitig bestätigte Thatsache[1], dafs die Anwendung heifser, bis 300° C. und noch darüber erhitzter, Luft das Schmelzen der Erze in Hohöfen nicht blofs im Allgemeinen befördert, selbst in der Art, dafs das erforderliche Brennmaterial für diesen Zweck, wenn man zuvor die Luft erhitzt und dann das Erz schmelzt, nicht so viel beträgt, als wenn die Schmelzung mit Anwendung kalter Luft geschieht, wonach daher schon bei dieser Art der Anwendung ein Vortheil hervorgehen würde; allein ungleich gröfser wird letzterer, wenn man die ohnehin in den Schmelzöfen vorhandene Wärme dazu benutzt, die Luft vorher zu erhitzen, indem man sie durch Röhren, die sich im Ofen selbst befinden, auf- und absteigen läfst, ehe sie zum Gebläse verwandt wird, weswegen auch bei den meisten Hohöfen Einrichtungen dieser Art jetzt statt finden. Die Thatsache unterliegt keinem Zweifel, die Erklärungen aber und die angegebenen Ursachen dieses Verhaltens sind verschieden. Nach der Bekanntwerdung mehrfacher Aeufserungen hierüber[2] und zunächst veranlafst durch ein Memoire von HUART aus Charleroi erklärten sich die Berichterstatter MARTENS, CAUCHY und DE HEMPTIENNE im Wesentlichen dahin[3], dafs der aus der Anwendung heifser Luft entspringende Vortheil hauptsächlich aus zwei Ursachen abzuleiten sey. Zuerst erfolgte die Verbrennung in kürzerer Zeit und es gehe somit weit weniger Wärme verloren; zweitens aber würden Kohlen statt Cokes angewandt, deren mit verbrennender Wasserstoff nach den Untersuchungen von LAVOISIER und LAPLACE, bestätigt durch H. DAVY, dreimal mehr Wärme gebe, als ihr Kohlenstoff. Wollte man bei der Anwendung kalter Luft gleichfalls Kohlen gebrauchen, so würde der Wasserstoff derselben gröfstentheils als Kohlenwasserstoff oder als öliger Dampf (vapeur huileuse) entweichen

1 Nachricht über viele gelungene Versuche giebt Dr. CLARKE in Edinb. Phil. Trans. T. XIII., daraus in Bibl. univ. de Génève, T. VII. 1829.

2 Ann. des Mines 3me Sér. T. VI. p. 467. Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 264.

3 Bulletin de la Soc. R. de Brux. 1836. N. 9. p. 300. Vergl. Institut 1836. N. 188. p. 416.

und dadurch eher Wärme entziehen, als erzeugen. Ein Versuch gab gleiche Schmelzungen mit 2 Kilogramm Kohlen und Luft von 322° C. und mit 7 Kilogramm Cokes bei Anwendung kalter Luft.

153) Eine Menge theils eigener, theils fremder Erfahrungen über dieses Problem hat Sobolewskoy[1] zusammengestellt, ist aber der Ansicht, dafs die Ursache der günstigen Erfolge nicht in der Anwendung heifser Luft, sondern in andern gleichzeitigen Bedingungen zu suchen sey. Gegen die von Neilson aufgestellte Erklärung, wonach die Gesammtmenge der Wärme im Hohofen durch diejenige vermehrt werde, welche der Luft vorher mitgetheilt worden sey, läfst sich leicht die Geringfügigkeit dieser Gröfse geltend machen; die Sache selbst betreffend soll aber die Ursache in einer besseren Regulirung der Gebläse, namentlich in der Anwendung von weniger, aber unter höherem Drucke schneller strömender Luft liegen. Unter andern habe Knauf bei seinen angestellten Versuchen gefunden, dafs 100 Kubikfufs Luft, unter einem Drucke von 2 Zoll Quecksilberhöhe einströmend, ebenso viel Hitze erzeugen, als 200 K. F. unter einem Drucke von 1 Zoll, und so habe auch Dufrénoy, als er Luft von 322° C. anwandte, die Menge derselben von 3500 K. F. auf 2626 K. F. vermindert. Im Wesentlichen beruhe also die ganze Sache auf dem Umstande, dafs durch schnelleres Zuströmen der Luft ein stärkerer Zug und dadurch ein besseres Verbrennen der Kohlen in den Hohöfen erzeugt werde. Hiergegen erinnert Buff[2], dafs allerdings das gute Ziehen bei Hohöfen nothwendiges Erfordernifs sey, allein keineswegs genüge, um die Resultate der Erfahrungen daraus zu erklären, die man über die Gebläse mit heifser Luft erhalten habe.

Es steht dem letztgenannten Physiker um so mehr ein Urtheil in dieser Sache zu, als die Versuche, die er selbst in Gemeinschaft mit dem Hütten-Inspector Pfort anstellte[3], zu den wichtigsten gehören, die wir über dieses Problem besitzen.

1 Poggendorff's Ann. XXXIV. 163.

2 Ebend. XXXVII. 196.

3 Aus den Studien des göttingischen Vereins bergm. Freunde in Poggendorff's Ann. XXXVII. 173. Vergl. Ann. de Pharmac. T. XIII. p. 129.

Sie sind mit Umsicht und mit genauer Beachtung des dabei sich zeigenden Verhaltens angestellt worden, und der grofse Vortheil, den das Gebläse mit heifser Luft gewährt, geht klar daraus hervor. Die Versuche, welche im Kleinen über die Verbrennung der Kohlen in Glasröhren beim Zuströmen kalter oder heifser Luft gemacht wurden, geben leicht durch Nebenbedingungen verwickelte Resultate, im Ganzen aber zeigen sie, dafs da, wo heifse Luft zu den entzündeten Kohlen tritt, das Brennen rascher und mit gröfserer Energie statt findet. Die im Ganzen richtige Erklärung läuft also darauf hinaus, dafs die bereits glühenden Kohlen durch die hinzukommende kalte Luft in ihrem raschen Brennen nicht zurückgehalten werden, daher an der Stelle dieses Zuströmens energischer brennen und eine gröfsere, die Schmelzung des Erzes herbeiführende, Hitze entwickeln. Um sich die Sache zu versinnlichen, dürfte man sich nur vorstellen, dafs eine geraume Zeit eine beträchtliche, zum Schmelzen des Erzes aber ungenügende Hitze erzeugt würde, wodurch begreiflicher Weise eine grofse Quantität Brennmaterial unnütz verschwendet werden müfste; die Wärme erhöhet dagegen die Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft, es wird keine Zeit, und somit keine unnütze Consumtion des Brennmaterials, verloren, um die kalte Luft erst zu erwärmen, wodurch der Schmelzprocefs nothwendig erhöhet werden mufs. Darum ist an der Stelle des Zutritts der heifsen Luft das Brennen so energisch; dort schmelzt das Erz rascher, die Gicht geht aber langsamer nieder und es wird mit Brennmaterial erspart. Bleibt bei der Anwendung heifser Luft der Druck und die Oeffnung der Düsen unverändert, so kommt in gleichen Zeiten weniger Luft in den Ofen, denn die durch Hitze ausgedehnte Luft gewinnt zwar an Fluidität und geht daher in gröfserer Menge durch die Düsen, zugleich aber wird ihr Volumen in einem gröfseren Verhältnifs vermehrt, bei 267° C. schon um das Doppelte, und sonach ist die ausströmende Masse in gleichen Zeiten geringer[1].

(154) Eine der heifsen Luft auf gewisse Weise ähnliche Wirkung ist diejenige, welche nach den Versuchen von Ar-

---

1 Ueber diesen Gegenstand verweisen wir auf unsern ausführlichen Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 602.

drew Fyfe[1] Wasserdämpfe hervorbringen, die man brennend[e] Cokes zuführt. Hiernach siedeten unter gleichen Bedingung[en] gleiche Quantitäten von Wasser ohne Dampf in 20, mit Dam[pf] in 14 Minuten; in einem anderen Versuche ohne Dampf in 10, m[it] Dampf in 9 Minuten. Aehnliche Versuche gaben ferner 8 und 6,5, so wie 6,25 und 5 Minuten. Ferner verloren gleic[he] Quantitäten Wasser durch Verdunstung ohne Dampf in 8 Mi[-] nuten 4 Unzen, mit Dampf 5 Unzen; in zwei andern Vers[u-] chen in 15 Minuten 4,5 und 7 Unzen; in 12 Minuten 6,7 und 7,25 Unzen. Fyfe zeigt durch Berechnung, dafs die i[m] Wasserdampfe enthaltene Wärme zur Erklärung dieser Resul[-] tate nicht hinreicht, und da das Wasser, also auch dessen Damp[f] als schon verbrannter Körper nicht nochmals verbrennen kann[2] so mufs angenommen werden, dafs der Wasserdampf eine Zer[-] setzung erleide, indem sein Sauerstoff an die brennenden Koh[-] len übergeht, der Wasserstoff aber mit dem Sauerstoff der at[-] mosphärischen Luft als Flamme verbrennt, die sich wirklic[h] auch deutlich zeigt. Hierbei findet also gleichzeitig Wasser[-] zersetzung und Wasserbildung statt, die Wirkungen beider ent[-] gegengesetzten Processe heben sich aber nicht auf, sondern e[s] ist durch die schnellere und energischere Verbrennung der Koh[-] len eine stärkere Erzeugung von Hitze vorhanden.

155) Auf das Princip, dafs die Leichtigkeit des Verbren[-] nens durch Abkühlung zunehmend vermindert und endlich gan[z] unmöglich gemacht wird, sind die verschiedenen *Mittel de[r] Feuerlöschung* gegründet. Kann durch Entziehung des Sauer[-] stoffgases das Brennen ganz unmöglich gemacht werden, wie dies[e] im hohen Grade durch Verbrennung von Schwefel bei entzündete[n] Caminen geschieht[3], weswegen auch die Anwendung dieses Mitte[ls] in Folge gemachter Erfahrungen dem Polizeipräfecten zu Par[is] durch den Gesundheitsrath im Jahre 1828 empfohlen worden ist[4] so mufs dieses als eine nicht hierher gehörige Sache betrachte[t] werden, im Allgemeinen aber wird das Feuer erstickt und da[s] Weiterumsichgreifen desselben dadurch unmöglich gemacht, daf[s] man die verbrennlichen Sachen unter diejenige Temperatur ab-

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLV. p. 177. Vergl. §. 157.

2 Vergl. Art. *Feuer*. B. IV. S. 203.

3 Vergl. ebend. S. 202.

4 Recueil industriel. T. XII. p. 127. Dingler polyt. Journ. Th. XXXV. S. 320.

kühlt, welche zu ihrer Entzündung erfordert wird. Hierüber ist indeſs bereits gehandelt worden[1], und daher möge nur nachträglich Folgendes bemerkt werden. Neuerdings sind Häckerlinge (in kurze, etwa 0,5 bis 0,75 Z. lange Enden zerschnittenes Stroh) als ein vorzügliches Mittel zum Feuerlöschen empfohlen worden und eigens deswegen angestellte Versuche haben sehr günstige Resultate gegeben[2]. Die ganze Sache besteht darin, daſs man eine genügende Menge dieser anscheinend so sehr entzündlichen Substanz auf brennende Gegenstände wirft und das Feuer dadurch, dem gemeinen Sprachgebrauche nach, erstickt. Die Ursache dieser Erscheinung ist nicht schwierig. Eine Decke dieser leichten Substanz genügt, den Zutritt der äuſseren, sauerstoffgashaltigen Luft zu den brennenden Körpern, von denen ohnehin die Luft und die Flamme aufsteigt, zu hindern, wodurch das bestehende Verbrennen vermindert oder aufgehoben wird. Auſserdem aber ist zwar diese löschende Substanz leicht verbrennlich, allein jedes einzelne Stückchen muſs doch zuvor die erforderliche Hitze erhalten, ehe es sich entzünden kann, und da bei den zahllosen Stückchen die Summe der Oberflächen sehr groſs ist, die brennende Masse der einzelnen entzündeten aber sehr klein, so wird hierdurch keine hinlängliche Quantität Wärme zur gleichzeitigen Entzündung vieler entwickelt. Aus solchem Grunde verkohlen Sägespähne und Papierhaufen nur langsam, und es hält schwer, selbst wenn man sich absichtlich darum bemühet, sie vollständig zu verbrennen. Weil ferner die specifische Wärmecapacität des Wassers gröſser ist, als die der Substanzen, die man darin auflöset, wenn man auch die zur Dampfbildung erforderliche Wärmemenge unbeachtet läſst, so geht schon hieraus die Richtigkeit der durch Parrot[3] aufgestellten Behauptung hervor, daſs reines Wasser zum Feuerlöschen geeigneter ist, als die hierzu vorgeschlagenen Mischungen, namentlich die viel besprochene des v. Aken[4]. Auch von einem später pomphaft angekündigten feuerlöschenden Pulver aus 1 Pf. Schwefel, 1 Pf. rothem Ocker und 6 Pf. Eisenvitriol,

1 S. Art. *Feuer* a. a. O.

2 Baumgartner's Zeitschrift. Th. II. S. 379.

3 Voigt's Magazin. Th. II. S. 709. Th. III. S. 388.

4 Ueber den zwischen van Marum und Descroizilles stattgefundenen Streit vergl. Ann. de Chim. T. XLVI. p. 8 ff. T. LI. p. 27. T. LII. p. 150. Gehlen N. Journ. Th. IV. S. 331. Th. V. S. 127.

welches fein gestoſsen in Patronen mittelst Pfeilen an die bren nenden Orte geworfen werden söllte, wie ein gewisser G. Palmer[1] in Vorschlag brachte, hat man nie eigentlich Gebrauc gemacht, ebenso wenig als von den in dem Löschwasser auf zulösenden Substanzen, die durch Nils Nyström[2] sehr em pfohlen wurden.

156) Die dem Wasser beigemischten Substanzen sollc nicht sowohl dazu dienen, das Feuer auszulöschen, als vielmeh die brennbaren Stoffe mit unverbrennlichen zu vereinigen un dadurch das Entzünden derselben unmöglich zu machen. S sollten auch die durch Palmer angegebenen Substanzen zu diesem Zwecke in Wasser verdünnt und Wände, Balken, Getäfe Holzwerk u. s. w. damit überstrichen werden. Allerdings werden alle leicht verbrennliche Körper sehr wenig entzündlicl oder widerstehn der Entzündung vollständig, wenn sie vo Salzen und sonstigen geeigneten Substanzen durchdrungen sind Unter andern hat Fuchs[3] einen namentlich Holz gegen da Verbrennen sichernden Ueberzug angegeben, nämlich ein i siedendem Wasser auflösliches Glas aus 70 Theilen Kieselerd und 30 Th. Kali oder Natron, welches in die Holzfasern dringen und eine oberflächliche Art der Versteinerung hervorbringen soll. Das Mittel scheint ausnehmend geeignet, mir sin jedoch keine damit angestellten Versuche, mindestens kein gröſseren, bekannt; dagegen berichtet Kraft[4] einen sehr gelungenen Versuch, welchen die Petersburger Societät mit einen hölzernen, nach Lord Mahon's und Hartley's Method feuersicher gemachten Hause angestellt habe, wobei das auf den Dache und im Innern angebrachte Feuer über eine Stund brannte, dann von selbst erlosch, dennoch aber waren die Bre ter und Balken bloſs oberflächlich verkohlt. A. Rochon[5] schlug vor, ein mit Thon überzogenes Drahtgeflecht zur Siche-

---

1 Beschreibung eines neu erfundenen Mittels gegen Feuersbrünste u. s. w. A. d. Fr. Leipz. 1808. 8. Vergl. Scherer's Journ. Th. X. S. 445.

2 V. Crell's chem. Ann. 1798. P. II. S. 519.

3 Vergl. über die zweckmäſsigsten Mittel, Feuersbrünste zu vermeiden, nebst Versuchen über einige Substanzen, mittelst welcher leicht verbrennliche Körper gegen die Flamme geschützt werden können. Von D. A. Vogel. München 1823. 8.

4 Acta Acad. Petrop. T. III. P. 2. p. 9.

5 Journal de Physique. T. LXXIII. p. 393.

ung gegen Brand zu benutzen. GAY-LUSSAC[1] hat die Auf-
abe ausführlich untersucht, selbst Leinen und gewebte Zeuge
it solchen Stoffen zu imprägniren, die ihre Biegsamkeit nicht
ufheben und dennoch ihre leichte Entzündlichkeit hindern,
wozu ihm verschiedene Salze am geeignetsten scheinen, welche
Einzelnen anzugeben hier zu weit führen würde. Endlich
möge hier auch gelegentlich die *Steinpappe* erwähnt werden,
welche ARVID FAXE[2] aus Carlscrona im J. 1785 erfunden
d ohne Angabe ihrer Bestandtheile bekannt gemacht hat.
bestand aus dickeren und dünneren, auch *Steinpapier* ge-
nten, röthlichen Platten, die zu feuerfesten Bedachungen und
leich als Uebetzüge über Kasten- und Actenschränke die-
sollten. D'ANTIC untersuchte sie und glaubte, daſs 2 Th.
nerde (Eisenoxydhydrat), 1 Th. thierisches Oel und 2 Th.
öhnliche Pappsubstanz ihre Bestandtheile bildeten. CHRI-
in Bergen machte sie von noch besserer Güte nach[3], auch
Berlin wurden ähnliche Tafeln verfertigt[4]; am ausführlich-
aber lieſs GEORGI[5] ihre Bestandtheile untersuchen, und
rtigte nach den Resultaten solche Steinpappe aus verschie-
n ähnlichen, ihm vorzüglich geeignet scheinenden Stoffen,
denen nur eine Zusammensetzung aus erweichten Papier-
tzeln, Leimwasser, rothem oder weiſsem Bolus, sogenann-
Todtenkopf und Kreide hier genannt werden möge. Die
n widerstanden sehr gut der Nässe, wurden zwar im
verkohlt, ohne jedoch zu verbrennen, und würden sich
n ihrer Leichtigkeit sehr gut zur Bedachung eignen, in-
hen steht ihre geringe Harte entgegen, indem nicht eben
re Steine beim Auffallen sie leicht zerschlagen[6].

Ann. de Chim. et Phys. T. XVIII. p. 211.
Lichtenberg's Magazin. Th. IV. Ht. 4. S. 40.
Fabri's allgem. polit. Zeitung 1787. N. 8.
WEHRS vom Papier. S. 564.
Nova Acta Petrop. T. IV. p. 266.
GLASER's feuerfester Anstrich aus 3 Th. Lehm, 1 Th. Thon
Th. Mehlkleister (s. nützliche und durch d. Erfahrung bewährte
läge u. s. w. 4. Aufl. Hildburgh. 1777), LORD MAHON's Vor-
alles Holzwerk mit einem Mörtel aus Sand, Kalk und zerhack-
n zu uberziehen, HARTLEY's Rath, alles Holzwerk durch Eisen-
en einander zu trennen, und andere der Art sind ungeachtet
ssen, durch sie erregten Aufsehens kaum beachtenswerth.
éthodes inventées jusqu'à présent

157) Beim Verbrennen kommen noch einige speciell zu erörternde Gegenstände in Betrachtung. Zuerst findet das Verbrennen entweder mit oder ohne Flamme statt, und eine nähere Untersuchung der *Flamme* ist daher hier an geeigneter Stelle. Manche Körper erlangen einen sehr hohen Grad des Glühens, verbreiten dadurch ein Licht, wie das Scintilliren der Fixsterne, sprühen auch nicht selten kleine, hellleuchtende Partikelchen umher, z. B. Eisen, Platin und andere strengflüssige Metalle im Knallgasgebläse; allein es darf dennoch nicht gesagt werden, dafs sie mit Flamme verbrennen. Letzteres ist dagegen der Fall bei einfachen und zusammengesetzten Körpern, doch im Allgemeinen mehr bei den zusammengesetzten. So verbrennen Phosphor, Schwefel, einige Metalle, als Zink, Antimon u. s. w., mit Flamme, noch mehr aber und eigentlicher Weingeist, Aether, die ätherischen und fetten Oele, Thierfett, Kampher, Wachs, Pech, die verschiedenen Körper aus dem Pflanzenreiche u. s. w.

Die Alten hielten die Flamme für eine eigenthümliche, aus den Körpern ausgehende Substanz, jedoch ist schon v. Helmont[1], obgleich er das Feuer als ein Mittelding zwischen Körper und Eigenschaft ansieht, geneigt, die Flamme als einen Zustand zu betrachten, in welchen die Theile des brennenden Körpers versetzt werden, und Morgan[2] hält das Licht des Flammen für einen Bestandtheil der verbrennenden Körper und aus ihnen entwickelt. Bei einiger genaueren Untersuchung erkannte man bald, dafs die Flamme durch die Entzündung und das Glühen der in Dampfform aufsteigenden Bestandtheile verbrennlicher Körper entstehe. Hieraus erklärte daher Nollet[3] die kegelförmige Gestalt der Flamme und einige sonstige Eigenthümlichkeiten derselben; indefs konnte weder dieser noch die ihm unmittelbar nachfolgenden Physiker eine genaue Vorstellung von der eigentlichen Wesenheit der Flamme haben weil ihnen, in der Hypothese von einem vorhandenen Phlogiston befangen, die Kenntnifs des Sauerstoffs fehlte und sie daher namentlich die Nothwendigkeit des Zutritts der äufseren

---

pour garantir les édifices d'incendies par M. l'Abbé Mann. Brux 1778. Deutsch Frankf. a. M. 1790.

1 Opera omn. Frc. 1707. 4. p. 120.

2 Philos. Trans. T. LXXV. p. 190.

3 Leçons de Physique. T. IV. p. 471.

aft nicht zu folgern und richtig zu deuten wuſsten. Es war aber nur halb richtig, daſs STAHL[1] annahm, jede Flamme enthalte wässerige Theile in Dampfform und ein mit Flamme verbrennender Körper müsse daher Wasser als Bestandtheil haben oder wie Kohle und Zink von auſsen aufnehmen. OTT[2] bestätigte diesen Satz durch Versuche, wonach die Flammen desto breiter und mit einer desto gröſseren Atmosphäre umgeben seyn sollten, je mehr Wässeriges sie enthielten, weswegen KLIPSTEIN[3] die Gebläse der Schmelzöfen durch Zuführung von Wasserdämpfen zu verstärken rieth. Die wunderlichen Meinungen von EULER, LOZERAN DE FIESC und dem ...NTE DE CREQUY über die Flamme[4] zu wiederholen ist nicht ... Mühe werth, doch kommen alle mit WEIGEL[5] darin überein, daſs die Flamme das eigentliche Feuerwesen selbst sey. ...chdem die Natur der Gase besser erkannt worden war, gelangte ... bald zu der Ansicht, die Flamme bestehe, einige beigemischte ...ile abgerechnet, aus verbrennendem Wasserstoffgas, das sich ... der sogenannten dephlogistisirten Luft verbinde, wie zuerst VOLTA[6] äuſserte, bis die Untersuchungen von CAVENDISH, ...TT, LAVOISIER und LAPLACE über die Zusammensetzung ... Wassers das Ganze in ein helleres Licht stellten. Dennoch ... brachten SCHEELE[7], RICHARD KIRWAN[8], selbst DE LUC[9] ... ihre Ideen über das Phlogiston mit in die Erklärung der ...me, bis die allgemeiner aufgenommene, insbesondere aber ...r erkannte, antiphlogistische Chemie richtige Begriffe über ... Wesen der Flammen begründete.

...158) Ein verbrennender Körper erzeugt nur dann eine ...me, wenn glühende Theile von demselben in Dampfgestalt

---

Gr. Ern. Stahlii Experimenta, observationes et animadvers. Berol. 1731. 8. §. 81.

Lithogeognosie. Berl. 1746. 4.

Voigt's Magaz. Th. III. St. 2. S. 169.

Recueil des Pièces qui ont remp. le prix cet. 1738—1747.

Grundriſs der reinen u. angew. Chemie. §. 315.

Lettere sull' aria nativa delle Paludi. Como 1776. 8. Briefe ...ie natürlich entstehende Sumpfluft. Winterth. 1778. 8.

Chemische Abh. von d. Luft und d. Feuer. Ups. u. Leipz. 1778.

Experim. and Observ. on the spec. gravities and attractive powers ...ous salines substances. Lond. 1781. 4. Deutsch von v. CRELL. ... Stettin 1783. 8.

Neue Ideen über die Meteorologie. Th. I. §. 180.

aufsteigen, und die Flamme wird um so viel leuchtender seyn, man kann sagen die *Weifse der Flamme* (*albedo*) ist um so gröfser, je mehr Theile in ihnen weifsglühen, ohne Beimischung anderer nicht glühender Theile[1]. Die Flammen verbrennender Metall[e] sind daher meistens dunkel und nähern sich in ihren ober[en] Theilen dem Rauche, weil sich die dicht vereinten glühende[n] Theilchen zu schnell abkühlen. Die zum Leuchten dienende[n] Flammen sind vorzüglich durch H. DAVY[2] untersucht worde[n]. Zu ihrer Erzeugung dienen hauptsächlich organische Körper un[d] sie können demnach als Producte des Verbrennens von Mi[-] schungen explodirender Gasarten betrachtet werden. Beste[ht] die Flamme blofs aus reinen verbrennenden Gasarten, so ist s[ie] wenig leuchtend, wie die Flamme des Wasserstoffgases und de[s] Knallgasgebläses, und diese würde, ungeachtet der unglaubliche[n] durch sie erzeugten Hitze, fast ganz unsichtbar seyn, wenn ma[n] beide Gasarten im ganz reinen Zustande anwendete. Die Hel[-] ligkeit der Flammen hängt ab von der geeigneten Menge de[s] zuerst abgesetzten und dann verbrennenden Kohlenstoffs, wel[-] cher in der, die eigentliche Flamme bildenden Mischung explo[-] dirender Gasarten aufsteigt und weifsglühet. Daher wird d[ie] Flamme des Wasserstoffgases und des Weingeists durch eine[n] Zusatz von etwas Terpentinöl nach HARE[3] heller leuchten[d], überhaupt aber wird die Helligkeit der Flamme dadurch be[-] dingt, dafs gerade nicht mehr Kohlenstoff vorhanden ist, a[ls] welcher durch die explodirende Gasmischung im Zustande d[es] vollkommenen Weifsglühens erhalten werden kann, ohne da[fs] zugleich seine Dichtigkeit zu gering sein darf, wodurch z[u] viele Stellen ungenügend erhellet seyn würden. Die Weif[s-] und Leuchtkraft der Flammen hängt also vom richtigen Men[-] gungsverhältnisse des feinst vertheilten Kohlenstoffs mit de[n] explodirenden Gasarten ab, was bei der Gasbeleuchtung vor[-] zugsweise in Betrachtung kommt[4]. Eine Kerzenflamme, gen[au] besehen, zeigt die dunkle Stelle, wo der Kohlenstoff ausgeschie[-]

1 Vergl. PÉCLET Traité de la chaleur. Par. 1828. 2 T. 8. T. I. p. 134.

2 Phil. Trans. 1816. p. 116. 1817. p. 75. Journ. de Phys. T. LXXXIV. p. 148. G. LVI. 141.

3 Silliman Amer. Journ. 1820. Apr. p. 172. Schweigger's Journ. Th. XXX. S. 374.

4 Vergl. *Gasbeleuchtung*. Bd. IV. S. 1082.

…en wird, kenntlich durch den Contrast damit, wo er verbrennt. …gen die Spitze nimmt die Hitze ab, weil dort der Zutritt …es Sauerstoffgases, durch die aufsteigende heifse Luft abgehalten, …ehr fehlt. Wenn der Docht durch angesammelten Kohlen…off wächst, so soll er nach DAVY die Flamme abkühlen und …her nur zum dunklen Rothglühen kommen. Aus diesen all…meinen Principien lassen sich leicht die ins Einzelne gehen…n Regeln und Bemerkungen ableiten. Unter andern gehört …hin die Vermehrung der Helligkeit, welche durch geeignete, … Flamme umgebende gläserne Schornsteine erreicht werden …. Halten diese den freien Zutritt des in der äufseren Luft …altenen Sauerstoffgases mehr ab, so brennt die Flamme dunk… dienen sie aber dazu, den Luftzug in Folge der in ihnen …ker strömenden heifsen Luft zu vermehren, ohne eine zu …e Abkühlung zu bewirken, so befördern sie sehr den …z der Flamme. Man bemerkt daher bei den Liverpool…gen, bei denen die Flamme sich um ein rundes horizonta…lech biegt, dafs die ohne den gläsernen Schornstein lange dunkel brennende Flamme nach dem Aufsetzen dieses …nsteins sich sofort verkürzt, stark flimmert und mit be…nd vermehrter Helligkeit brennt. Dahin gehören die Unter…ngen von HOLTHOUSE[1] über die geeignetsten Dimensionen …ormen der gläsernen Schornsteine für die verschiedenen …en, wie nicht minder JOHN HERSCHEL's[2] Bemerkung, …ne gewöhnliche Argand'sche Lampe nur bei einer gewis…hebung des Schornsteins die gröfste Helligkeit gewährt, … nicht eben bedeutender Vermehrung oder Verminderung …h abnimmt, und auch eine so eben gemachte sehr inter… und nützliche Erfindung, welche dazu dient, die Leucht…ewöhnlicher Lampen auch bei Anwendung des schlech… Oeles bedeutend zu vermehren, und im Wesentlichen …genden Principien beruht. Die Flamme wird in einiger …ng mit einem kurzen, stark und fein durchlöcherten, me… Rohre umgeben, welches oben durch eine Scheibe ver…n ist. In der Mitte der letzteren befindet sich ein …velches den oberen Theil der Flamme eben durchläfst …rch diese selbst stark erhitzt wird. Dieses vermehrt

…London and Edinb. Phil. Mag. N. CVII. p. 40.
…Ebendaselbst N. CII. p. 194.

nicht blofs den Luftzug im Allgemeinen, sondern insbesondere den der sehr erhitzten, durch die engen Löcher eingedrungenen Luft, befördert daher das Verbrennen und das Weifsglühen des in der Flamme befindlichen Kohlenstoffs, und diese Bedingungen, verstärkt durch einen geeigneten Schornstein, erhöhen die Leuchtkraft bedeutend[1].

Aehnliche Untersuchungen über die Flammen, als DAVY, hat auch PORRET[2] angestellt. Jede Kerzenflamme, am meisten die gröfsten und hellsten, ist mit einer schwach leuchtenden Hülle umgeben, welche wegen des helleren inneren Theiles weniger sichtbar erscheint, sehr leicht aber wahrgenommen wird, wenn man ihr Bild in einem Spiegel betrachtet. Diese Hülle, welche unten am dicksten ist, wird durch die weniger kohlenstoffhaltigen Bestandtheile der aus den verbrennlichen Substanzen durch die Hitze erzeugten Gasarten gebildet. Man sieht dieses deutlich daraus, dafs ein Metallnetz in diesem Theile der Flamme am stärksten glüht und sich ein Ring oder eine Scheibe von Kohlenstoff ansetzt, statt dafs letzterer im hellleuchtenden Theile der Flamme verbrannt wird. Hält man eine Glasröhre von etlichen Zoll Länge, deren innere Weite der des Dochtes ungefähr gleich ist, über den brennenden Docht, so werden die verbrennenden Substanzen in derselben niedergeschlagen und lassen sich an der oberen Mündung entzünden, auswärts aber setzt sich Kohle an. Man ersieht übrigens ohne künstliche Versuche alles das, was die Flamme gewöhnlicher Kerzen betrifft, wenn man sie ausbläst und den aufsteigenden Rauch wahrnimmt, dessen Brennen vorher die Flamme gab. Indem nämlich das durch die Flamme selbst flüssig gemachte, oder an sich flüssige, thierische oder vegetabilische Fett nach den Gesetzen der Capillarität im Dochte aufsteigt, wird es durch die den letzteren umgebende Flamme in Kohlenwasserstoffgas mit einem Ueberschufs von mechanisch

---

1 Hierher gehören die Untersuchungen von CHRISTISON und TURNER über die Intensität des Lichtes, welches die verschiedenen Leuchtgase geben, und die Mittel, dieselbe zu vermehren, in Edinburgh Phil. Journ. N. XXV. p. 1, vergl. Art. *Gasbeleuchtung* Bd. IV. S. 1114, und die neueren über denselben Gegenstand von ANDREW FYFE im Edinburgh New Phil. Journ. N. LVIII. p. 214.

2 Annals of Philos. T. IX. p. 337. Bibl. univ. T. V. p. 97.

fortgerissenem Kohlenstoff verwandelt, welches aufsteigt und die Flamme fortdauernd nährt. Ist die Menge des Kohlenstoffes gerade genügend, um fortdauernd im stärksten Weifsglühen erhalten zu werden, so ist die Flamme weifs und hell, ist aber die Menge desselben zu grofs, so wird ein Theil mechanisch fortgerissen und setzt sich als Lampenrufs, Kienrufs, Glanzrufs u. s. w. an kalte Körper an. Wird eine Flamme durch Blasen mit kalter Luft ausgelöscht, was durch Abkühlung des brennenden Gases leicht geschehen kann, so lassen sich die aufsteigenden Theile wieder entzünden, wenn man ihnen eine Flamme nähert; ist aber der Docht am oberen Ende stark verkohlt, so bewirkt das Blasen der Luft gegen denselben das Wiederentzünden der Flamme, so dafs man sie abwechselnd durch geeignetes Blasen auslöschen und wieder anfachen kann. Will man eine inflammabele Gasart durch glühendes Metall entzünden, so wird dazu eine grofse Masse desselben erfordert. Nach H. Davy[1] wurde ein Strom des aus Kohlen bereiteten Gases nicht entzündet, als er einen glühenden Eisendraht 0,05 Zoll dick und 8 Zoll lang lothrecht hineinhielt, auch nicht durch einen horizontal gehaltenen 0,17 Zoll dicken Draht; wurden aber 6 Zoll des letzteren lothrecht in eine Flasche mit Kohlengas gehalten, so fand Entzündung statt, indem sich das Gas allmalig und anhaltend erhitzte. Man überzeugt sich von der Anwesenheit des Kohlenstoffs in der Flamme nicht blofs durch das Ausblasen derselben, sondern noch einfacher, wenn man einen blanken Platindraht horizontal in die Flamme hält. Durch Abkühlung setzt sich der Kohlenstoff an den Draht und letzterer wird schwarz; schiebt man ihn aber durch die Flamme, so verbrennt der Kohlenstoff an dem hervorragenden Ende durch den von aufsen zutretenden Sauerstoff, erhält aber der Draht eine gröfsere Hitze, so wird die Gesammtmenge des an ihn gesetzten Kohlenstoffs verbrannt und der Draht erscheint blank. Libri[2] in seinen gehaltreichen Untersuchungen über die Flamme hat zwar unsere Kenntnifs der Sache nicht wohl eigentlich erweitert, sehr zweckmäfsig ist aber der Vorschlag, zur genaueren Betrachtung derselben ihren Schatten im hellen Sonnenlichte auf einem Blatte weifsen Papiers aufzufangen.

---

1 Philosoph. Trans. 1816. p. 117.
2 Bibliothèque univ. T. XXXIV. p. 173. Poggendorff's Ann. X. 294.

159) In dem hier Mitgetheilten ist wohl genügend voll ständig alles dasjenige enthalten, was man über die verschiede nen Flammen zu wissen verlangen möchte, mit Uebergehun der zahlreichen Modificationen, die sich aus den eigenthüm lichen Bedingungen leicht erklären lassen. Dahin gehören d Verschiedenheiten der Flammen des Leuchtgases, dessen gan Masse durch Zutritt des Sauerstoffgases von aufsen verbrenn des Weingeistes, der Aetherarten und der ätherischen Oele, d keines Dochtes bedürfen und doch verbrennen, des Schwefe Phosphors, der verschiedenen vegetabilischen Substanzen u. s. Inzwischen giebt es noch zahlreiche Untersuchungen über d beim Verbrennen mit Flamme sich zeigenden Eigenthümlich keiten, die ohne tiefer eingehende Erörterungen wenigstens i Allgemeinen Erwähnung verdienen[1]. Dahin gehören vorzügli die von Blackadder[2], welche hauptsächlich die ungleich vom Blauen zum Gelben übergehende Farbe der Weingeis flamme, so wie auch sonstige bekannte Färbungen der Flamme berücksichtigen. Eine Reihe von Versuchen, welche Davies anstellte, und die ihm zeigten, dafs das Glühen und die da durch erzeugte Hitze in der äufseren Umgebung einer Ker zenflamme wegen des daselbst statt findenden freiesten Zutritt des Sauerstoffgases am stärksten sey, wurden so verstanden, a ob im Innern der Flamme gar kein Glühen statt finde, wa aber nur bei einer solchen der Fall seyn könnte, in deren In neres wegen übergrofser Dicke gar kein Sauerstoffgas zu drin gen vermöchte. Dieses veranlafste eine abermalige interessant Reihe von Untersuchungen, welche Blackadder[4] anstellte, i denen er diejenigen expansibelen Substanzen, welche in d Flamme verbrennen, durch sinnreiche Vorrichtungen vor ihr Entzündung erhielt, so dafs man auf die angegebene Weise i Stande seyn würde, diese genauer chemisch zu bestimmen, u hieraus die Verschiedenheiten der Flammen sicherer zu erklä ren. Waldie[5] bestreitet zuerst den Satz, dafs man nic

1 Unter andern R. Mallet's Versuche in London and Edin Phil. Mag. N. XLI. p. 404, die nur beiläufig hier erwähnt werd mögen.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. I. p. 56.

3 Annals of Philos. N. LX. Dec. 1825. p. 447.

4 Edinburgh New Phil. Journ. N. II. p. 224.

5 London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 86. Seine R

brennliche Körper verbrenne in dem
und durch denselben, indem vielmehr
hätig seyen, was sich jedoch schon
l man das Verbrennen überhaupt als
rachtet. Diese specielle Rücksicht
onstruction eines kleinen Apparates,
hiedene Gasarten in einander ver-
e Formen und Farben der erzeugten
brennt zuerst ein Strom von Leucht-
t, so besteht die erzeugte Flamme,
aus einem in der Mitte befindli-
rsetzten Gases; 2) aus einem sehr
genden, sehr leuchtenden und wei-
ilenstoff weifs glühet; 3) aus einer
einschliefsenden und in den leuch-
welche aus brennendem, aber nicht
s einer Hülle von blauer, ins Röthliche
unten am dünnsten und nach oben
r eigentlich verbrennenden Mischung
e Hitze, begreiflich am meisten im
ist, und 5) aus einer gelblich brau-
ch den oberen Theil umgebenden
ten Producten der Verbrennung be-
n sieht man am besten bei einer
n der Intensität ihres Verbrennens.
je nach der Gasart, welche ver-
n sie verbrennt, wobei hauptsächlich
e bedingend wirkt, welche nach
den Quadraten ihrer Dichtigkeiten
Auch Kemp[1] fand Anstofs an dem
ntlichen Unterschied zwischen ver-
nen bedingenden Körpern aufstellt,
s in Wasserstoffgas verbrennen, wie
mit gleichem Erfolge geschah, wel-
s die Flamme des Sauerstoffgases im

nen genau mit denen überein, welche
älteren erhielt. S. Philos. Trans. T.

nie. Th. III, S. 44.
IV. 536.

reinen Wasserstoffgase gröfser ist, als im Kohlenwasserstoffgas weil nach seiner Ansicht vom ersten Gase mehr als vom letz ten zur Neutralisirung des Sauerstoffgases erfordert wird.

160) Die *Farbe der Flammen* sollte eigentlich weifs sey denn wenn die Hitze so stark ist, dafs der Lichtäther dadur in Schwingungen versetzt wird, und wenn sich aufserdem be weisen läfst, dafs die Flamme erst beim starken Glühen d Körper, beim sogenannten Weifsglühen, brennt, so führt dies auf die Voraussetzung einer weifsen Flamme; es folgt jedoc schon aus dem Vorhergehenden, dafs nicht alle Theile in die sen Zustand des Weifsglühens gesetzt werden, indem namen lich oft beim Brennen harzreicher Hölzer und stark mit O oder Fett getränkter Körper dicke Massen nicht glühend Kohlenstoffs als Rauch aufsteigen, und die weifs leuchtend Theile der Flammen sind daher fast allezeit mit Partikeln ge mengt, welche die Flamme trüben, und mit andern, die ihn eine eigenthümliche Farbe geben. Die nicht eigentlich gefärb ten gewöhnlichen Flammen haben aufser dem weifsen Haupt theile einige mehr farbig spielende Partieen, wie so eben er wähnt wurde, die aber wegen der geringen Intensität dies Lichtes von keinem merklichen Einflufs sind, sobald nur d Flamme im Ganzen die bereits bezeichnete Weifse hat, di man ihr zu geben sucht, weil sie dadurch zur Beleuchtung a geeignetsten wird. Unter modificirenden Bedingungen trete indefs stärker auffallende Färbungen hervor. So bemerkt Hess dafs Sauerstoffgas im Wasserstoffgas verbrennend eine grün Farbe giebt, selbst wenn es aus Röhren von Glas oder Plati ausströmt, statt dafs im umgekehrten Falle eine bleiche, etwa gelbliche Flamme zum Vorschein kommt, da doch in beide Fällen eine weifse und auf jeden Fall eine gleiche Flamm entstehn müfste, weswegen er meint, die Farbe der Flamm hänge von der Atmosphäre ab, worin sie brennt. Inzwische ist dieses keine Erklärung und die Sache verdient allerding näher untersucht zu werden. Nach den unverkennbar interes santen Versuchen von Blackadder[2], welcher zur Vermeidun anderweitiger Bedingungen Weingeist und Oel ohne Doch verbrennen liefs, wechseln die Flammen dieser Körper zwi-

---

1 Poggendorff's Ann. a. a. O.

2 Edinburgh New Philos. Journ. N. I. p. 58.

len mit Weifs, inzwischen läfst
Angaben kein kurzes Resultat ent-
die bei der *monochromatischen*
amende gelbe Flamme eine Folge
nung seyn soll. Das Licht dieser
st von geringer Intensität, es ver-
nach einer Angabe von TALBOT[2]
igkeit gesteigert wird, wenn man
stlampe ein Stück Kochsalz legt
dagegen bläfst. Legt man statt
lz oder Barytsalz auf den Docht,
gehörigen farbigen Flammen von
urch die sonst üblichen Verfah-
en die Färbungen der Flammen,
d bei Illuminationen anwendet[3],
ik, als dafs hier ausführlich dar-
vegen nur einige wenige Angaben
lt sie meistens dadurch, dafs Al-
Substanzen aufgelöst sind, ver-
, Baryt oder Strontian geben eine
chön rothe Flamme, am besten,
Strontianchlorid in Weingeist auf-
stdochtes oder in einem Platin-
ine schöne blaue Flamme erhält
nes Gemenges aus 2 Th. gebrann-
ifsem Pech und 1 Th. Salmiak auf
ner Weingeistflamme, auch wenn
ocht einer Kerze bringt; ebenso
pan, 1 Th. Salmiak und 2 Th.
h eine grüne Flamme durch Kali-
en[6], oder noch einfacher mittelst
aurem Kupfer in Weingeist, oder
verisirtem salpetersauren Baryt und

. 62.
Mag. N. XIII. p. 35.
häufig durch gefärbte Gläser fallen,

LX. S. 383.
riften Th. VII. S. 364.
S. 483.

Kohlen[1]. Nach Herschel[2] wird das Rothfeuer, dessen man sich in den Theatern bedient, durch Verbrennung von salpetersaurem Strontian hervorgebracht.

161) Es dürfte hier der Ort seyn, des *indischen Weifsfeuers* zu gedenken, welches zu nächtlichen Signalen sehr geeignet ist und insofern wissenschaftliche Bedeutsamkeit hat. Die Engländer bedienten sich dessen bei ihren Gradmessungen, theilten es den Franzosen mit, und diese brachten die Bestandtheile durch chemische Analyse heraus[3]. Diese sind hiernach 24 Th. Salpeter, 7 Th. Schwefel und 2 Th. rother Arsenik; sie werden zu einem feinen Pulver gestofsen und genau gemengt in runde Schachteln von der Höhe ihres Halbmessers gepackt. Diese werden mit einem Deckel von Schachtelholz versehn, worin sich ein rundes Loch zum Anzünden befindet. Schachtel und Deckel werden mit Papier verklebt, um das Zerstreuen beim Transporte zu verhüten. Beim Gebrauche öffnet man das Loch im Deckel, um die Masse zu entzünden, schneidet den Deckel rundherum los, damit er leicht wegfliege, und entzündet durch eine gewöhnliche *Zündruthe*, welche von den französischen Artilleristen[4] aus 4 Th. fein gestofsenem, gereinigtem Salpeter, 2 Th. Schiefspulver, 2 Th. Kohlenpulver und 1 Th. Schwefelblumen, wohl pulverisirt, gemengt und durch ein Haarsieb gebeutelt, gemacht werden. Diese Masse befindet sich in papiernen Patronen von der Dicke eines Federkiels, worin dieselbe fest eingestampft wird. Man schneidet die verklebte Spitze mit einer Scheere ab, entzündet mittelst einer Lunte oder Kohle die an einem Stocke befestigte Zündruthe, die dann das Weifsfeuer leicht und schnell in Brand setzt, ohne jemals zu verfehlen, das brennende Ende der Zündruthe mufs aber, um das gänzliche Verzehren zu verhüten, mit einer Scheere abgeschnitten werden. Eine Schachtel mit indischem Weifsfeuer von 6 Z. Durchmesser und 3 Z. Höhe brennt gewöhnlich 3 Minuten und verbreitet ein so helles Licht, dafs

---

1 Edinburgh N. Phil. Journ. N. VI. p. 393.

2 Aus Correspond. math. et phys. T. V. p. 254 in Poggendorff's Ann. XVI. 186.

3 S. v. Zach monatl. Corresp. Th. XV. S. 523. Th. XVI. S. 13. Vergl. allg. geogr. Ephem. Th. III. S. 37.

4 Eine andere Zusammensetzung ist 8 Th. Schwefelblumen, 4 Th. Salpeter und 2 Th. Schiefspulver.

ıuntergang bis auf 36000 Toisen
ınn.

keinem endlichen Resultate füh-
ıs *griechische Feuer* hier aufzu-
wahrscheinlich war dasselbe eine
ı wegen Neuheit der Sache mehr
e Würdigung ergeben konnte[1].
hten über die Wirkungen dieses
da von den dazu verwendeten
äufsern Beschaffenheit der Masse
wird, so bleibt die Sache stets
, und es ist keine Hoffnung vor-
twa durch Auffindung einer bis
:hen Quelle zu einer genauern
en, wie dieses Mac Culloch[2]
Jach diesem bestand dasselbe ei-
ı, vielleicht Naphtha enthaltenden
irenden, von denen Salpeter ein

reits gelegentlich über das *Licht*
mit Flamme verbrennenden Kör-
nachträglich Einiges hinzugefügt
abe sich hauptsächlich auf die
ıten dienenden Lampen bezieht,
en Artikel[3] gehandelt worden ist.
welchen die technischen Bestre-
:n erhalten haben, bemächtigen
lurch die Forschungen der Phy-
und man lernt daher gegenwär-
:n Ausführungen früher kennen,

ʒaz. Th. XI. S. 347. Th. XII. S.
ı in einer Handschrift der Münche-
S. Sonnini in Biblioth. phys. écon.
V. p. 376. Viel ist enthalten in:
ıostes auctore Marco Graeco, ou
re les ennemis cet. publié d'après
s nationale. Par. 1804. 4.
IV. p. 390. Aus Journ. of the Royal

59 ff.

als die wissenschaftlichen Erörterungen allgemeiner bekannt werden. Viel konnte indeſs zu dem über diesen Gegenstand bereits Bekannten neuerdings nicht hinzukommen, da diese Aufgabe durch den Grafen Rumford so erschöpfend behandelt worden war. Will man auf ältere Bemühungen zurückgehn, so enthalten Wild's[1] Versuche über die Substanz der Dochte und die Anwendung der verschiedenen Combustibilien zur Beleuchtung einige Belehrungen, denen jedoch genauere photometrische Bestimmungen abgehn. Letzteres ist nicht der Fall bei den bereits erwähnten Versuchen des Grafen Rumford[2], die daher einen vorzüglichen Werth haben und aus denen hervorgeht daſs die Stärke des Lichts wächst, wenn durch gröſsere Intensität der erzeugten Hitze ein höherer Grad des Weiſsglühns des in der Flamme enthaltenen Kohlenstoffs hervorgebracht wird. Hiermit stimmt H. Davy's[3] Ansicht überein, wonach die groſse Helligkeit der Argand'schen und Liverpool-Lampen auf der groſsen Hitze beruht, welche der Flamme derselben eigen ist und den verbrennlichen Substanzen mitgetheilt wird Hierauf beruhn auch die durch Reid[4] aus seinen Versuchen entnommenen Regeln für die Beschaffenheit der Kerzendochte wonach sie weder zu dick noch zu dünn seyn dürfen und am besten aus einzelnen neben einander geordneten Strängen bestehn. Hassenfratz[5] muſste im Auftrage der Regierung (im 3ten Jahr d. Republ.) die Intensität des durch verschiedene Körper gegebenen Lichtes und die hieraus folgende sparsamste Methode der Beleuchtung untersuchen. Auch dieser brachte hierbei die Photometrie durch den Schatten in Anwendung, erhielt aber von den durch Rumford gefundenen sehr abweichende Resultate, denen wohl die wenigsten beipflichten dürften; denn nach ihnen wird von weiſsen Wachskerzen dreimal so viel verzehrt, als von Rübsamenöl in einer Zugluftlampe verbrennend, um gleiche Mengen Licht zu geben, und doppelt so viel

1 Voigt's Magazin. Th. II. S. 652.

2 Aus Philos. Trans. 1812. in Bibl. Brit. T. LIV. p. 3. Schweigger's Journ. Th. IX. S. 240.

3 Philosoph. Trans. 1817. p. 74. Vergl. oben §. 157 und das daselbst angegebene Mittel zur Verstärkung des Lichtes.

4 Wiener Zeitschrift. Th. IX. S. 230.

5 Ann. de Chim. T. XXIV. Daraus in Scherer's Journ. Th. I. S. 453.

von sehr abweichende Ergebnisse
vor, die von HERMBSTÄDT[1] in
it verschiedenen Arten von Ker-
chen sind seine photometrischen
ils dafs sich genaue Bestimmungen

ı, was in dem genannten Artikel
npen gesagt worden ist, kann hier
lung über diesen Gegenstand von
t werden. Hieraus ersieht man,
ngegebenen Lampen, bei denen
uck stets gleich erhalten wird,
Jahrhunderts durch CARDANUS[3]
ARD verfertigten aber durch CA-
essert worden seyen. CRIVELLI
hnliche, und zwar verbesserte, in
aber für den vorliegenden Zweck
eswegen ich mich begnüge, auf
e Aufzählung der verschiedenen
ampen bezüglich auf ihre Form
hier nicht suchen[5]. In wissen-
ür den Chemiker und in vielen
sind die *Weigeistlampen*, deren
Abdampfen, Verflüchtigen u. s. w.
en gewöhnlichen ist vorzüglich
, mit einem Argand'schen Dochte,
verth; Verbesserungen derselben
nd BATKA[7] in Vorschlag ge-
indefs der Chemie in Beziehung

. 40.
it. in Wien. Th. XIV. S. 1.

nale et étrangère 1825. Sept.
über mehrere parallele Dochte und
r in Ann. de Chim. et Phys. T. XVI.
Nicholson's Journ. N. II. über Lam-
. p. 104.
98.

auf chemische Geräthschaften anheim. Schliefslich möge aber noch einer Erfindung gedacht werden, die sich auf eine Angabe Blackadder's[1] gründet, dafs man statt eines Dochtes auch ein enges Röhrchen benutzen könne, worin das Oel durch Capillarität aufsteigt und an der obern Spitze entzündet weiter brennt. Wenn man daher ein enges, kaum 0,5 Lin. weites Röhrchen von dünnem Glase oder von Metall durch ein dünnes Blech und dann durch einen Kork steckt, letzteren auf gereinigtem Oele schwimmen läfst und das Oel an der Spitze des Röhrchens entzündet, so brennt es mit einer kleinen, ausnehmend weifsen Flamme, der des Leuchtgases ähnlich, weswegen man eine solche Vorrichtung auch *Gaslampe* genannt hat. Leider steht dem Gebrauche entgegen, dafs das obere Ende des Röhrchens sich durch erhärteten Kohlenstoff verstopft, welcher am Rande und im Innern so fest ansitzt, dafs man ihn nur selten wegnehmen kann, ohne das Röhrchen zu zerbrechen.

Eine sehr wichtige Aufgabe ist die Bestimmung der *Wärmemenge*, welche durch das Verbrennen der verschiedenen Körper erzeugt wird, wobei nur im Vorbeigehn bemerkt werden kann, dafs man sich hierbei zum Messen eigener Apparate bedient, *Calorimeter* genannt[2], und zwar neuerdings in der Regel des Wassercalorimeters, mit denjenigen Abänderungen und Modificationen, welche die jedesmaligen Zwecke erfordern.

165) Soll ein Verbrennen statt finden, so mufs nach dem aufgestellten Begriffe ein *Glühen* vorhanden seyn, welches vom Dunkelrothglühn durch Kirschroth zum Weifsglühn übergeht. Im Allgemeinen ist die vorhandene Hitze der Stärke des Glühns proportional, allein es giebt sehr viele Abweichungen von dieser Regel. Die zunächst liegende Frage, wie grofs die Hitze seyn müsse, um überhaupt das Glühn hervorzubringen, ist noch keineswegs genügend beantwortet worden, auch steht einer bestimmten Entscheidung der Umstand entgegen, dafs dieses bei ungleichen Körpern verschieden ist. Schon Fordyce[3] wollte gefunden haben, dafs wenn Körper ungefähr von 160° bis 200°

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. I. p. 52.
2 S. Art. *Calorimeter*. Bd. II. S. 9.
3 Philos. Trans. T. LXVI. p. 504.

n beginne, allein der brennende
:se Hitze nicht, und Thénard[1]
n mit dem *Tachopyrion*, dafs
hem Drucke in Sauerstoffgas blofs
nnen, unter einem Drucke von
schon bei 252° C. in Brand ge-
lzpunct des Bleies bei ungefähr
Blei sich in Papier schmelzen
kohlt wird, welches Verkohlen
wenn man es in geschmolzenes
estehn taucht, so ist hieraus zu
n des Papiers bei noch höherer
.et[2] meint, zur Erzeugung des
wenigstens 500° C. erforderlich,
von Pouillet[3] mit seinem Luft-
: genauere Bestimmungen hier-

dunkel Orange . .	1100° C.
hell Orange	1200 —
Weifs	1300 —
hell Weifs	1400 —
blendend Weifs . .	1500 —

Flamme des Phosphors, welche
int, eine Ausnahme, und auch
ils selbst zum Weifsglühn er-
upt zu glühn, denn nach H.
:s glühenden Glases durch die
zu 557° C. annimmt, ist ein
ihte weifsglühend werden, nicht
t die Flamme des Knallgasge-
nd würde noch weniger leuch-
ase anwendete; dennoch aber
o unermefslich grofs. Wich-

:LIV. p. 181.
1828. T. I. p. 181.
782. Poggendorff's Ann. XXXIX.
e. Par. 1837. T. I. p. 288.
67.

tig in dieser Beziehung sind die Versuche, welche Andrew
Fyfe[1] angestellt hat, um die verhältnifsmäfsigen Mengen vo
Licht und Wärme zu ermitteln, welche durch Leuchtgas er
zeugt werden, wenn es aus den verschiedenen in England ge
bräuchlichen Apparaten ausströmend verbrennt. Die Intensitä
ten des Lichts zeigten sich hierbei bedeutend verschieden, de
gleiche Mengen verbrannten Gases gaben als einfacher Stro
verbrannt 100, mit zwei andern Vorrichtungen 140 und 16
mit einem Glasschornsteine nach Art einer Argand'schen Lam
verbrannt 180, also bedeutend ungleiche Quantitäten Li
Ganz anders aber verhielt es sich mit der erzeugten W
me. Um diese zu messen, diente ein sehr einfacher Appa
Fig. 44. Ein einfacher hohler Cylinder von Blech B, oben zum Verhi
der Verdampfung mit einem Deckel verschlossen, hatte in s
nem Innern einen andern A von etwas geringerm Durchme
und nicht ganz bis zur Mitte des gröfsern hinaufragend, w
cher unten offen und mit der Röhre cc zum Abführen
etwa entstehenden Rauches versehn war. Verbrannte die Fla
me im Innern des kleinen Cylinders A, so theilte sie dem
gröfseren befindlichen Wasser die erzeugte Wärme mit. Hie
bei zeigte sich, dafs gleiche Mengen verbrannten Gases, o
gleich sie zwischen 15 und 40 Minuten Zeit zum Verbrenn
bedurften und sehr ungleiche Mengen Licht entwickelten, gl
che Erwärmungen des Wassers erzeugten. Noch auffallen
zeigte sich dieses Resultat, als die Argand'sche Lampe, b
welcher das Gas aus 42 kleinen Oeffnungen ausströmte, a
gewandt wurde. War die Flamme 3 Zoll hoch und nur 4 M
nuten brennend, mit einem Glasschornsteine, so erwärmte s
das Wasser um 55° F., und um ebenso viel, wenn sie nur ein
Zoll hoch ohne oder mit einem Schornsteine 12 Minuten brann
ja auch dann, wenn sie kaum sichtbar 30 Minuten zum Ve
brennen der gleichen Menge von Gas bedurfte. Hiernach ka
man also sagen, dafs die erzeugte Hitze allezeit, ohne Rück
sicht auf die Menge des erzeugten Lichtes, der Quantität d
verzehrten Gases proportional ist. Es scheint daher eine blo
starren Körpern zukommende Eigenschaft zu seyn, ein ihr
Glühhitze proportionales helleres Licht zu erzeugen, und d
theoretisch höchst wichtige, meistens ohne genauere Prüfur

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. LVIII. p. 227.

Intensität der Wärme der Inten-
ıal sey, ist nicht als allgemein

che, durch die Intensität des
des Glühns wirklich vorhanden,
dadurch zu einer gleichen Glüh-
sie nicht durch ihre Masse zu
:u viel Wärme erfordern, um
einer gewöhnlichen Lichtflamme
wie man namentlich zuweilen
ile der Flamme sich erstrecken-
Theilchen des Dochtes sieht,
örper zu gleicher Hitze bringen,
te Glasfäden in ihr schmelzen,
lberdrähte verflüchtigt wird und
ilt man das Ende einer Clavier-
in eine Kerzenflamme, so wird
cenpsprühn verbrennen, ja Ten-
'eise sogar feinsten Platindraht,
ırch die kaum sichtbare Flamme
itze.

sier's anthiphlogistischem Sy-
das Verbrennen auf einer Ver-
brennlichen Grundlagen beruhe,
g der Wärme bei diesem Pro-
s Sauerstoffgases abzuleiten, die
er der Quantität des verzehrten
etzen, und Welter[3] behauptet
ı Sauerstoffgas erzeugte Wärme
ɔrennbaren Stoffe dasselbe auch
dieses stimmt weder mit der
:rein. H. Davy[4] erklärt sich
tlich, unter den Gasarten gebe
lenoxydgas dagegen die gering-
Verbindung des Sauerstoffs mit

S. 95.

KIX. p. 415. T. XXVII. p. 223.
Biblioth. univ. T. IV. p. 153.

Phosphor unter nicht unbedeutender Lichtentbindung ist die erzeugte Wärmemenge sehr gering; ja man hat geglaubt, es werde dadurch gar keine Wärme frei. Letzteres ist inzwischen nicht der Fall, obgleich die geringe Quantität mit gewöhnlichen Thermometern nicht leicht wahrgenommen wird. NOBILI und MELLONI[1] brachten aber in einem kleinen Reflector ein Stück verleuchtenden Phosphor an, stellten ihn de thermoelektrischen Säule gegenüber und erhielten allerding Ablenkungen der Magnetnadel, welche Wärmeentbindung anzeigten, obgleich eine weit geringere, als dafs man sie der Me des verzehrten Sauerstoffgases, wenn man andere Processe da vergleicht, proportional setzen könnte[2]. Wenn es also k allgemeines Princip giebt, woraus die Menge der erzeug Wärme sich entnehmen läfst, oder ein solches bis jetzt wenigste nicht aufgefunden worden ist, so mufs dieselbe durch Erfahr gefunden werden. Hierüber besitzen wir eine zahllose Me Versuche, von denen hier nur einige der wichtigern aufzune men sind; allein die verschiedenen Resultate stimmen un einander nicht vollkommen, mitunter sogar sehr wenig über weil die Versuche schwer und mannigfaltig bedingt sind[3]. D Messungen mit dem Calorimeter gehören zu den sehr schwi rigen rücksichtlich der genau zu bestimmenden mittleren Te peratur der gesammten Wassermasse oder der Menge des g schmolzenen Eises, der Einflufs der Wärmestrahlung von o nach aufsen ist nicht leicht zu bestimmen, und aufserdem k die raschere oder langsamere Verbrennung und die vollständi Mittheilung aller dadurch erzeugten Wärme an das Calorime nicht unbedeutende Fehler herbeiführen, so dafs aus diese allen die Verschiedenheit der erhaltenen Resultate leicht erkl bar wird.

167) Wissenschaftlich würde es vom gröfsten Interes seyn, zuvor die Wärmemenge genau auszumitteln, wel durch die Verbindung des Sauerstoffs mit *einfachen* Kö pern erzeugt wird, und dann bei zusammengesetzten Körpe

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Poggendorff's An XXVII. 449.

2 Es liefse sich annehmen, dafs zwar eine gröfsere Menge Wä me erzeugt, aber durch die Expansion des Phosphordampfes wied gebunden würde.

3 Vergl. GUYTON DE MORVEAU in Ann. de Chim. T. XC. p. 127.

rch Berechnung zu prüfen, ob und wie weit die erzeugten Wärmemengen der Summe der durch die einfachen Bestandteile derselben hervorgerufenen gleich sind. In einigen Fällen t dieses durch den Grafen RUMFORD, durch PÉCLET und ndere geschehn, keineswegs aber vollständig genug, um zu sten Gesetzen zu gelangen, und überhaupt sind die meisten ther gehörigen Versuche blofs zu dem Ende angestellt worden, s auszumitteln, welche Brennstoffe technisch mit dem gröfsten rtheil verwandt werden. Unter die wichtigsten ältern Versuche ser Art gehören die von LAVOISIER[1] mit seinem Eiscalorime- angestellten, um die Heizkraft der in Paris gangbaren Combtibilien auszumitteln, die von HASSENFRATZ[2], wobei er sich chfalls des Eiscalorimeters bediente, desgleichen die von MENT und DESORMES[3] über die verhältnifsmäfsige Wärme- luction durch Verbrennung der Holzkohle, der Steinkohle, Holzes und Torfs, insbesondere aber die des Grafen RUM- D[4], wobei er sich des nach ihm benannten Wassercalori- rs bediente. In diesen ist zunächst eine rein wissenschaft- Tendenz vorherrschend, inzwischen war auch dieser Ge- e durch die Bemühungen, die Heizapparate in München prak- zu verbessern, zur nähern Untersuchung dieses Problems ver- t worden, weswegen sich dann aus seinen Versuchen zu- die ungleichen Wärmemengen ergeben, die man durch Verbrennen verschiedener Combustibilien zu erhalten ver- Unter die ältesten, aber stets noch der Beachtung wer- Versuche, die eben daher gewöhnlich neben denen von SIER und RUMFORD genannt zu werden pflegen, gehö- ie von CRAWFORD[6], ungleich vorzüglicher sind die von ON[7], welcher sich dabei eines Wassercalorimeters be-

---

Histoire de l'Acad. 1781. p. 379.
Ann. de Chimie T. XXIV. p. 78.
Recherches physico-chimiques de MM. GAY-LUSSAC et THÉ- T. II. p. 344.
Aus Nicholson's Journ. 1812. Juni in G. XLIV. 1. XLV. 28

Experimental Essays political, economical and philosophical. G. III. 309. IV. 85. 222. 330.
On animal heat and combustion. Second ed. Lond. 1788.
Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Berl. 1812. Th. I. S. 87.

diente, dessen Inhalt genau 30000 Grän Wasser betrug, die Menge der verbrennenden Gase aber, die in einer Blase mit einem Hahn befindlich waren, wurde so gewählt, dafs das Volumen derselben unter atmosphärischem Drucke so grofs war als das von 30000 Grän Wasser; die sonstigen Substanzen verbrannten in einer Lampe so, dafs die Spitze der Flamme genau den Boden des Calorimeters berührte. Bei allen Verbrennungen diente die Temperaturerhöhung des Wassers als vergleichbares Mafs. Eine von dieser fast allgemein in Anwendung gebrachten abweichende Methode wählte Marcus Bull um die verhältnifsmäfsige Heizkraft der in America gebräuchlichen Brennmaterialien, namentlich der verschiedenen Holzarten, zu messen. In einem gut verschlossenen gröfsern Zimmer erbauete er ein kleineres blofs aus Holz, als schlecht wärmeleitender Substanz, setzte ein kleines Oefchen hinein, worin die Stoffe möglichst gleichmäfsig verbrannten, sorgte dafür dafs der Raum beim Durchgange durch ein sehr langes, im Innern des kleinern Zimmers herumgeführtes Rohr sich gehörig abkühlte, und mafs die erzeugte Wärme vermittelst mehrerer Thermometer.

168) Die Vergleichung der erhaltenen Resultate läfst sich auf zweierlei Weise anstellen, entweder indem man die Menge des zum Verbrennen erforderlichen Sauerstoffgases als Einheit annimmt und die durch die Verbindung mit derselben erzeugte Wärme der verschiedenen Combustibilien bestimmt, oder wenn man das Gewicht der letztern als Einheit betrachtet und ohne Rücksicht auf die Menge des verzehrten Sauerstoffgases die erzeugte Wärme mifst. Die Bestimmungen nach der erstern Methode sind wichtig zur Entscheidung der Frage, ob die erzeugte Hitze der Quantität des verzehrten Sauerstoffgases allezeit proportional ist, nach der zweiten aber haben sie ein mehr ökonomisches Interesse, sofern beim gewöhnlichen Verbrennen die atmosphärische Luft das erforderliche Sauerstoffgas ohne Aufwand von selbst hergiebt und es sich daher blofs um die

---

1 Aus Transactions of the Phil. Soc. at Philadelphia T. III. p. in Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale XXVI. ann. 1827. Daraus in Jahrbücher des Wiener polyt. Institute Th. XVI. S. 344 u. Péclet Traité de la Chaleur. T. I. p. 144. Aus Trans. of the Amer. Phil. Soc. New Ser. 1826. in Dingler's polyt. Journ. Th. XXIV. S. 251. 336.

stoffs handelt. Nach der letz-
: Zusammenstellung gegeben, die
nittheile, und zugleich bemerke,
ugten Hitze nur einen relativen,
erth haben, die brennbaren Sub-
ehrte Sauerstoffgas, in Gewich-

erzehrtes Oxygen	erzeugte Hitze	Beobachter
1,377	3500	Rumford
1,033	2600	Rumford
2,655	7300	Lavoisier
2,234	6000	Clement
2,655	6500	Marcus Bull
. . .	3000	Clement
. . .	6400	Péclet
8,038	23400	Lavoisier
	22125	Clement
	23640	Despretz
3,923	6375	Dalton
3,370	6600	Dalton
0,572	1857	Dalton
3,020	9044	Rumford
	11196	Lavoisier
. . .	9307	Rumford
2,520	8030	Rumford
2,470	6195	Rumford
. . .	5261	Rumford
3,109	8639	Rumford
	7186	Lavoisier
3,129	9479	Rumford
	10500	Lavoisier
3,228	7338	Rumford
1,380	7500	Lavoisier
3,228	4500	Dalton
1,005	1462	Dalton
1,180	9475	Rumford

liefse sich leicht finden, wie
ist, welche durch die Verbin-
mit den verschiedenen brenn-

p. 220.

baren Substanzen erzeugt wird, wenn anders jene so genau wären, daſs es sich der Mühe lohnte, diese Berechnung anzustellen, um ein allgemeines Gesetz darauf zu gründen, nicht zu gedenken, daſs die durch die verschiedenen Gelehrten gefundenen Resultate merklich von einander abweichen. Beispielsweise mögen nur einige dieser Angaben hier angeführt werden[1]. Nach Despretz verhält sich die durch gleiche Mengen Sauerstoff mit Wasserstoff und Kohle erzeugte Wärme wie 1:1,012, nach Dalton die durch 1 Th. Sauerstoff mit ölerzeugendem Gas, mit Kohlenwasserstoffgas, mit Kohlenoxydgas und mit Phosphor erzeugte Wärme wie 1:0,819:1,695:1,85. H. Davy[2] fand beiläufig, daſs bei gleichen Theilen Sauerstoffgas die Wärmemenge mit Kohlenoxydgas = 1, mit hydrothionsaurem Gas = 1,12, mit ölerzeugendem Gas = 1,6, mit Wasserstoffgas = 4,3 ist. Nach einer spätern Versuchsreihe von Despretz[3], wovon jedoch nur einige Notizen bekannt geworden sind, entwickelt 1 Gramm Sauerstoff mit Wasserstoff 2578°, mit Kohlenstoff 2967°, mit Eisen 5325° C. Wärme, und dem Eisen kommen Phosphor, Zink und Zinn sehr nahe[4].

169) Wir besitzen aus der neuesten Zeit eine Arbeit, welche leider nicht vollendet worden ist, denn sonst würde sie vermuthlich alle diesen Gegenstand betreffende Fragen erledigt haben; der für die Wissenschaft zu früh verstorbene Dulong hatte sie begonnen, es sind aber nur einzelne von ihm gefundene Resultate aus seinen Papieren zu unserer Kenntniſs gelangt[5]. Das von ihm gebrauchte *Calorimeter*[6] war dem Wesen nach ein Wassercalorimeter und bestand aus einem rechteckigen kupfernen Kasten, 10 Cent. lang, 7,5 Cent. breit und

1 Vergl. L. Gmelin Handbuch der Chemie. Th. I. S. 149. Edinburgh Journ. of Science. N. XVII. p. 161.

2 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 12.

3 Ann. Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 180. Poggendorff Ann. XII. 519.

4 Für technische und ökonomische Benutzung des Brennmaterials ist belehrend: Buchanan practical and descriptive Essays etc. Glasgow 1810. Ein Auszug in Bibl. Brit. T. XLVI. p. 105.

5 Aus compte rend. T. VII. p. 871 in Poggendorff's Ann. XLV. 451.

6 Die Beschreibung ist etwas undeutlich, doch läſst sich das Wesentliche der Construction daraus entnehmen.

25 Cent. tief. Die zu verbrennenden Substanzen wurden in diesen geleitet durch zwei Röhren, deren eine parallel an der Wand herabgehend etwas über dem Boden einmündete, die andere, zuerst vertical herabgehend, dann unter dem Boden hinlaufend, mündete vertical aufsteigend in demselben, und beider Oeffnungen hatte man mit Dillen versehn. Waren die hierdurch herbeigeführten Substanzen verbrannt, so entwichen die dadurch erzeugten gasigen Producte und die erhitzte Luft aus dem Kasten durch einen rechteckigen Canal von 5 Cent. Weite, dessen Mündung etwas über dem Boden in der dem Eintritt der zum Verbrennen bestimmten Substanzen gegenüber liegenden Wand befindlich war. Dieser Canal, in fast horizontaler Richtung sieben- bis achtmal hin und her gebogen, ging dann fast senkrecht herab und stieg demnächst wieder herauf, um in zwei cylindrischen Dillen zu endigen, deren eine, in der Axe des Rohrs befindlich, das Thermometer aufnahm, um die Temperatur des Gases zu messen, welches durch die andere Dille in ein Gasometer geführt wurde. Durch ein mittelst einer Glasscheibe bedecktes, in einer der Ecken aufgelöthetes Rohr lassen sich die Erscheinungen des Verbrennens beobachten. Ein horizontales, auf der Ebene der Zuleitungsröhren befindliches Rohr sollte wahrscheinlich zur Verbrennung von Flüssigkeiten dienen. Der obere Rand des Kastens war mit einer *Rinne* versehn, in welche die Ränder eines kupfernen Deckels gesenkt und durch Quecksilber abgesperrt wurden; dieser *Deckel* aber trug ein zwei Cent. weites kupfernes Rohr. Der ganze Kasten nebst Zubehör, mit Ausnahme der Dillen, ward in einen andern mit Wasser gefüllten Kasten von 11 Liter Rauminhalt eingeschlossen und zur Messung der Temperatur des stets umgerührten Wassers dienten zwei Thermometer. Beim Experimentiren verbrannten die Gase an den Spitzen der Zuleitungsröhren, die Flüssigkeiten mittelst Baumwollenfäden in einem sie enthaltenden Röhrchen, das Eisen wurde als spiralförmiger Draht verbrannt, die übrigen Metalle in *Pulverform* in einer Kapsel von Kupfer oder Platin, und sie wurden mit einer indifferenten Masse gemengt, wenn man ihr *Zusammenballen* fürchtete; die Entzündung geschah durch etwas Schwamm, die Kohlencylinder mit scharf zulaufender Spitze wurden in Kohlenpulver stark geglüht, nach langsamem Erkalten brauchte man nur ihre Spitze in einer Weingeistflamme

glühend zu machen, worauf sie in Sauerstoffgas weiter brannten. Vor allen Dingen benutzte Dulong die durch Rumfort angegebene Vorsicht, den Apparat vor dem Anfange des Versuches ebenso weit unter die Temperatur der Umgebung abzukühlen, als seine Wärme beim Ende desselben mehr betrug, und die Zeitdauer bis zur Erreichung des Mittels und die nach dem Eintritt desselben einander möglichst gleich zu machen.

Als allgemeine Resultate, welche Dulong aus den bekannt gewordenen und den vielleicht noch in seinen Papieren verborgenen Versuchen entnommen hat, werden folgende angegeben: 1) die entwickelten Wärmemengen sind für gleiche Substanzen fast gleich bei verschiedenen Temperaturen.

2) Gleiche Volumina von allen Gasen entwickeln bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff gleiche Wärmemengen.

3) Auf eine gleiche Sauerstoffmenge entwickelt sich eine gleiche Wärmemenge, es mag sich eine Verbindung wie R + O oder R + 2 O bilden.

4) Bei den starren Substanzen sind die entwickelten Wärmemengen sehr ungleich.

Der erste dieser Sätze ist sehr wichtig und es läfst sich gegen denselben, so wie gegen den vierten nicht wohl etwas einwenden; der zweite und dritte, wenn man den letzteren genau nimmt, scheinen mir unter sich im Widerspruche zu stehn, stimmen aber auch mit den von Dulong selbst angegebenen einzelnen Resultaten nicht überein. Hierbei wird als Wärmeeinheit diejenige angenommen, welche 1 Gramm flüssigen Wassers bei mittlerer Temperatur um 1° C. zu erwärmen vermag; die Dichtigkeit der Gase ist auf 0° Temperatur und 0,76 Met. Barometerstand reducirt. Die folgende Tabelle enthält die mittleren Resultate aus mehrern Versuchen, und zwar zuerst die Wärmemengen, welche ein bestimmtes Mafs der brennbaren Substanz durch Aufnahme des erforderlichen Sauerstoffs entwickelt, und dann diejenige, die durch Verbindung von einem bestimmten Mafse Sauerstoff mit dieser Substanz erregt wird.

e	Ein Liter	Wärme
4	Sauerstoff	6207,28
7	Sauerstoff	4695,32
3	- - - - -	....
0	- - - - -	....
,5	- - - - -	....
,0	- - - - -	....
5	- - - - -	....
3	- - - - -	....
	- - - - -	2601,16

ab die zur Sättigung erforderliche
itäten:

,5	Antimon ... 5365,8
,6	Zink 7576,6
,6	Kobalt 5721,0
,3	Nickel 5333,0
0	

zu haben, dafs zwischen den
offe und der durch gleiche, beim
toffmengen erzeugten Wärme ein

ier noch eine Behauptung erwähnt
s Mac Keever [2] auf eine Reihe
he gründet. Hiernach soll der
rascher erfolgen, als im Schatten,

non wird die Sauerstoffmenge nach
da ich mir aber nicht vorzustellen
nach Mafs und Gewicht verschieden
lafs das, was *nach Mafs* heifst, die
nach Gewicht aber die corrigirte be-
mung des Sauerstoffgases wird 0° C.
neterhöhe angenommen, wonach also
irt werden mufste. Die von mir auf-
die nach Gewicht mit Benutzung der
Poggendorff angegebenen Verbes-

. p. 344. Daraus in Poggendorff's Ann.

und die Ursache dieses Einflusses in der desoxydirenden Wirkung der Sonnenstrahlen liegen. Diese letztere Vermuthung baut er auf eine Versuchsreihe, wonach gleiche Mengen gleicher Kerzen unter übrigens gleichen Bedingungen in den violetten Strahlen in kürzerer Zeit verzehrt wurden, als in den rothen und gelben. Die Thatsache hat etwas sehr Auffallendes denn statt der sehr entfernt liegenden Erklärung, dafs durch die desoxydirende Wirkung der Sonnenstrahlen der Verbrennungsprocefs als eine Art Oxydation merklich gehindert werden könne, sollte man vermuthen, dafs umgekehrt das Verbrennen im Sonnenlichte rascher erfolgen müsse, da nach allen Erfahrungen die Wärme den Verbrennungsprocefs bedeutend befördert und auch in den vorliegenden Versuchen die Temperatur in den Sonnenstrahlen merklich höher war, als im Schatten. Inzwischen gesteht Keever selbst, dafs er auf seine Versuche nicht die nöthige genaue Sorgfalt verwandt habe, wodurch die Resultate den erforderlichen Grad der Zuverlässigkeit erhalten haben könnten, und wir müssen also mit Poggendorff die mitgetheilten Thatsachen für nicht genügend erachten, um eine physikalische Wahrheit darauf zu gründen, um so mehr, als weder der erste Experimentator noch auch irgend ein anderer Physiker seitdem diesen Gegenstand weiter geprüft hat.

171) Wenn es sich darum handelt, die Erscheinungen des Verbrennens mit den allgemeinen Gesetzen der Wärmelehre in Einklang zu bringen, so lassen sich die hierüber aufgestellten Hypothesen unter vier Classen ordnen. Nach Berzelius[1] sind im Allgemeinen alle Wärmephänomene zugleich auch elektrische, sofern durch Verbindung beider Elektricitäten Wärme erzeugt wird, wonach dann die durch das Verbrennen zum Vorschein kommende nichts anderes als das Resultat der Vereinigung der Elektricitäten zweier Körper seyn kann, deren einer negativ, der andere positiv elektrisch ist. Diese Erklärung mufs mit der ganzen Hypothese, wonach die Wärme überhaupt nichts anderes als eine Verbindung beider Elektricitäten ist, stehn oder fallen, und da sie später in diesem Abschnitte (§. 218) zur Untersuchung kommen wird, so ist es am besten hierauf zu verweisen[2]. Nach einer zweiten Hy-

1 Versuch über die chemischen Proportionen. S. 79.

2 Die sogenannte elektrische Hypothese ist in dieser Gestalt klar

pothese, die man dem Wesen nach als von Lavoisier stammend betrachten könnte, giebt der Sauerstoff oder eigentlicher das Sauerstoffgas die Wärme her, welche beim Verbrennen zum Vorschein kommt, während der verbrennende Körper sich neutral verhält. Es würde ungerecht seyn, durch strenges Festhalten am Worte diese Ansicht dadurch zu widerlegen, dafs der Sauerstoff, wie oben (§. 135) gezeigt wurde, nicht nothwendige Bedingung des Brennens im weitern Sinne des Wortes ist, denn man könnte hierauf erwidern, dafs namentlich das Chlor die Stelle des Sauerstoffs vertrete, obgleich, wenn man auch dieses zugeben wollte, die Erklärung mancher der genannten Phänomene nicht ohne vielfache gezwungene Hypothesen statt finden könnte; allein es müfste doch auf jeden Fall, die Sache mit der unerläfslichen Strenge genommen, bei den gewöhnlichen Verbrennungen die erzeugte Hitze den Quantitäten des absorbirten Sauerstoffs direct proportional seyn, was sicher der Erfahrung widerstreitet. Hiermit innig zusammenhangend ist diejenige Hypothese, welche sich nicht blofs auf die Verbrennungen speciell, sondern auf alle zu dieser Classe gehörigen Wärmeerzeugungen durch Chemismus erstreckt, wonach die Quelle dieser Wärme in einer Verdichtung der verbundenen Substanzen liegen soll. Hiernach würde diese Art der Wärmeproduction mit der durch Compression erzeugten zusammenfallen. Liefse sich dieses durchführen, so fände es schon eine bedeutende Stütze in der Vereinfachung des Erklärungsprincips, welches gleichzeitig auf mehrere Classen von Phänomenen der Wärmeerzeugung anwendbar wäre, und es ist daher von grofser Wichtigkeit, zur sichern Entscheidung der Frage zu gelangen, ob bei allen mit Wärmeerzeugung verbundenen Processen chemischer Verbindungen zugleich eine Volumensverminderung statt findet. Es ist indefs vielseitig, am gründlichsten durch Berzelius[1], gezeigt worden, dafs dieses nicht statt findet, und dafs demnach weder Lavoisier's, noch die letztere, etwas modificirte Hypothese mit anerkannten unzweideu-

bestimmt. Weniger läfst sich dieses sagen von einer durch Dulong und Petit geäufserten Meinung, wonach Wärme überall so erzeugt werden soll, als beim Glühn der Kohlenspitzen durch den elektr. Strom in mephitischen Gasarten ohne chemische Veränderung nach Davy's Versuchen. S. Ann. Chim. et Phys. T. X. p. 412.

1 Lehrbuch der Chemie. Th. III. S. 49.

tigen Thatsachen bestehn kann, obgleich Duflos[1] sich grofs Mühe gegeben hat, jene Theorie aufrecht zu halten, wobei ma jedoch das Gezwungene seiner Erklärungen keinen Augenblic verkennen kann. Als auffallendes Beispiel kann erwähnt wer den, dafs beim Verbrennen von Kohle in Sauerstoffgas da Volumen des letztern nicht vermehrt und dennoch eine s enorme Hitze erzeugt wird. Allerdings ist das Product, di Kohlensäure, dichter, als das verzehrte Sauerstoffgas, aber nu im Verhältnifs von 1,3716:1, und eine Zusammendrückun um nicht völlig 0,38 müfste daher eine gleiche Hitze erzeuger als das Verbrennen der Kohle, was gegen alle Erfahrung strei tet. Wenn sich Schwefel und Kupfer verbinden, so geschieh dieses mit Ausscheidung von Licht und Wärme, es findet ei eigentlicher Verbrennungsprocefs statt; dennoch aber ist da spec. Gewicht des Schwefelkupfers geringer, als das mittler der vereinten Körper, und die Quelle der Wärme kann dahe in einer Verdichtung nicht liegen, weswegen Berzelius[2] zu elektrischen Hypothese seine Zuflucht nahm, sofern der seh positiv elektrische Schwefel mit dem sehr negativen Kupfer i Verbindung kommt. Beispiele dieser Art, welche zeigen, dafs di Quelle der durch Chemismus erzeugten Wärme nicht in de gleichzeitig statt findenden Verdichtung liegen könne, liefse sich noch mehrere aufzählen, allein es mufs hierbei noch ein andere Bedingung berücksichtigt werden. Nach einer vierte Hypothese nämlich wird durch jede chemische Verbindung, un also auch die im Verbrennungsprocesse statt findende, ein neue Körper erzeugt. Soll hierbei gar keine Wärme frei werden, s müfste die specifische Wärme des neuen Körpers dem Mitte der specifischen Wärme beider vereinter Körper gleich seyn im entgegengesetzten Falle aber entweder Wärme frei oder gebunden werden. Dieses vorausgesetzt wird also angenommen dafs beide durch Verbrennen vereinte Körper so viel von ihrem Wärmestoffe hergeben, als erforderlich ist, den neugebildeten auf die bei der Vereinigung beider Stoffe vorhandene Temperatur zu bringen, und dafs der Ueberschufs als freie Wärm entweichen mufs.

172) Diese letztere Hypothese ist unter der Voraussetzung

1 Kastner's Archiv. Th. XVII. S. 336.
2 G. XXXVII. 279.

des Vorhandenseyns eines materiellen Wärmestoffes so natürlich, so nahe bei der Sache liegend, man dürfte sagen so nothwendig bedingt, dafs sie nicht wohl anders als durch ganz entscheidende Gegengründe aufgegeben werden kann, und dennoch stehn ihr solche in dieser ihrer einfachen, nicht modificirten Gestalt allerdings entgegen. Es wäre ein Leichtes zu untersuchen, ob die specifische Wärme der durch Verbrennen unter Ausscheidung von Licht und Wärme erzeugten Producte um so viel geringer ist, als die mittlere der vereinten Körper, um hieraus die Menge der entwickelten Wärme zu erklären; allein man mufs hierbei wohl berücksichtigen, dafs die verbrennenden Körper mehrere Stadien eines wechselnden Aggregatzustandes durchlaufen, ehe sie bleibend in die neue Form versetzt werden. Vorzugsweise hat PRECHTL[1] scharfsinnig nachgewiesen, dafs die beim Verbrennen des Wasserstoffs und der Kohle durch den Sauerstoff gegebene Wärme allerdings ausreiche, um die bei diesem Processe frei werdende Hitze zu erklären, was zwar zunächst zur Unterstützung der dritten Hypothese dienen würde, füglich aber erst hier zur Erörterung kommen kann, weil sich bald zeigen wird, dafs die verbrennenden Substanzen zugehörige Wärme, genau genommen, nicht vernachlässigt werden darf.

173) Zuvörderst bemerkt PRECHTL, dafs die Gröfsenbestimmungen der specifischen Wärme zwar angeben, wie viel Wärme erforderlich ist, um gleiche Gewichte der Körper auf dieselbe Temperatur zu bringen, zugleich aber keine Kenntnifs der absoluten Wärmemengen der Gasarten gewähren, welche letztere sich vielmehr aus der durch Compression entwickelten Wärme finden läfst. Atmosphärische Luft entwickelt nach Versuchen von PRECHTL selbst bei fünffacher Verdichtung 290° C., während Wasserdampf, um aus dem tropfbaren Zustand in Dampfform überzugehn, nur 550° C. Wärme bedarf und also, insofern er hierdurch eine 1700fache Ausdehnung erhält, auch umgekehrt durch eine gleiche Zusammendrückung nur 550° Wärme entwickeln kann. Wenn dann die für Luft gefundene Wärmeentwickelung durch Compression auch für Sauerstoffgas gilt, so würde in Gemäfsheit dessen, dafs 290° einer fünffachen

1 Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien. Th. XIV. S. 156.

Compression zugehören, eine Wärmeentbindung von 550° C eine 9,46fache Zusammendrückung erfordern. Die Gröfsen dieser für gleiche Wärmeentbindung erforderlichen Zusammendrückungen geben aber das umgekehrte Verhältnifs der absoluten vorhandenen Wärmemengen, und es ist also die Wärme welche bei der Verbrennung des Wasserstoffgases im Sauerstoffgas durch den gebildeten Wasserdampf absorbirt wird, $= \frac{9,4}{170}$ oder nahe $\frac{1}{180}$ derjenigen Wärme, die aus dem Sauerstoffgas durch Verdichtung in der chemischen Verbindung entwickelt worden ist. Zu einem ähnlichen Resultate führt das Verbrennen der Kohle. Nach früheren Versuchen von PRECHTL[1] enthalten 288,5 Kubikfufs Wasserdampf ebenso viel Wärme, als 473 Kubikfufs kohlensaures Gas. Da aber durch Verbrennung von 1 Kubikfufs Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas 2 Kubikfufs Wasserdampf gebildet werden, so entsprechen $\frac{473 \times 2}{288,5} = 3,2$ Kubikfufs kohlensaures Gas den 2 Kubikfufs Wasserdampf, und da durch Verbrennung der Kohle in 1 Kubikfufs Sauerstoffgas 1 Kubikfufs kohlensaures Gas entsteht, so enthalten 3,28 Kubikf. dieses Gases ebenfalls nur $\frac{1}{180}$ des aus 1 Kubikfufs Sauerstoffgas durch Verbrennung entbundenen Wärmestoffes, oder die Wärme, welche durch Verbrennung der Kohle in Sauerstoffgas durch Bildung des kohlensauren Gases latent wird, beträgt nur $\frac{1}{180 \times 3,28} = \frac{1}{590}$ oder nahe nur den 600sten Theil der überhaupt erzeugten, wonach also die gleichzeitig zum Vorschein kommende Hitze leicht erklärbar wird.

174) Dieser sehr scharfsinnigen Deduction kann man die gebührende Anerkennung nicht versagen, dennoch aber lassen sich durch allseitige Beleuchtung der Thatsachen mehrere Zweifel dagegen nicht verkennen, die zuletzt in eine förmliche Widerlegung übergehn dürften. Zuvörderst darf nicht übersehn werden, dafs der Satz: die Wärmeentbindung durch Compression ist der Zusammendrückung direct proportional, theoretisch nicht wohl genügend begründet erscheint, in der Erfahrung aber eine bestimmte Widerlegung findet. Denken wir uns ein gewisses Luftvolumen, zum bessern Anhalten eine Kugel aus

1 Jahrbücher des k. k. polyt. Instituts. Th. IX. S. 112.

einer beliebigen Menge Kugelschichten von gleichem Inhalte bestehend, und setzen wir die absoluten Wärmemengen jeder einzelnen $= s, s', s'', s''' \ldots . s^{n-1}$, die Summe der gesammten Wärmemenge aber $= S$, so würde der Satz, dafs nach der Zusammendrückung der ganzen Kugel um die Gröfse einer Kugelschicht die entbundene Wärme $= s$ und nach abermaliger Zusammendrückung $= s'$, also im ersten Falle der bleibende Rest der Wärme $S_, = S - s$ und im zweiten $S_{,,} = S - (s + s')$ wäre, nur in dem Falle theoretisch begründet seyn, wenn die Kugelschichten s und s' ganz weggenommen würden, und man ihren dadurch frei werdenden Wärmestoff quantitativ unverändert zu erhalten vermöchte; da aber die Theile der ersten, dann die der zweiten u. s. w. in die übrigen hineingeprefst werden, wodurch deren Dichtigkeit und Wärmecapacität geändert wird, so mufs $S_, = S - s \pm x$ und $S_{,,} = S - (s + s') \pm x'$ seyn, je nachdem der Rest der Kugelschichten durch die Verdichtung Wärme abgiebt oder verschluckt. Hiernach kann also s nicht wohl $= s'$ seyn, weil durch Hineindrücken der einen Kugelschicht in die andern die Dichtigkeit und somit zugleich der Erfahrung nach deren relative Wärmecapacität sich ändert[1].

175) Wird das Gewicht der aufgestellten Beweisgründe durch diese Argumentation mindestens geschwächt, so geschieht dies noch mehr durch folgende Betrachtung. Wenn Wasserdampf eine 1700fache Verdichtung erleidet, so entsteht tropfbar flüssiges Wasser, und es werden 550° C. Wärme ausgeschieden. Dafs hieraus nicht mit Sicherheit zu schliefsen sey, es werden durch 5fache Verdichtung $\frac{5}{1700} \cdot 550°$ C. ausgeschieden, haben wir so eben gesehn. Aber wenn man dieses auch zugeben wollte, so würde daraus noch keineswegs folgen, dafs die hierdurch erhaltene geringe Wärme das vollständige Ergebnifs der blofsen Compression sey, da vielmehr Wasser gebildet wird, welches einen grofsen Theil der erzeugten Wärme aufnehmen und nur einen geringen Theil übrig lassen mufs. Die Zusammendrückung des gesättigten Wasserdampfes läfst sich daher mit der der Gasarten nicht unbedingt ver-

1 Vergl. relative Wärme.

gleichen, noch weniger aber kann aus der Wärme, welch erfordert wird, um das schon vorhandene Wasser in Damp zu verwandeln, unbedingt auf die durch Compression des Dampfes frei werdende in der Art geschlossen werden, daſs ma letztere mit der durch Compression der Gase entbundenen ver gleichen könnte, denn beim Wasserdampfe findet ein Punct de gröſsten Dichtigkeit statt, welcher bei den Gasen fehlt, un wenn Dämpfe vom Puncte dieser gröſsten Dichtigkeit an durc Wärme ausgedehnt werden, so muſs für gleiche Ausdehnunge bei ihnen mehr Wärme erforderlich seyn, als bei den Gasar ten, weil die specifische Wärme des Wasserdampfes gröſs ist, als die irgend einer Gasart. Hieraus würde aber folge daſs durch Compression des über den Punct seiner gröſst Dichtigkeit durch Wärme ausgedehnten Wasserdampfes bis z einem den Punct der gröſsten Dichtigkeit nicht erreichend Grade mehr Wärme, als aus gleich stark verdichteten Gasart ausgeschieden werde. Ein Versuch dieser Art würde schw seyn, wäre aber allein geeignet, um eine genügende Vergle chung zu geben.

176) Ohne jedoch die Entscheidung auf diesem Wege ab zuwarten, läſst sich durch eine andere Betrachtung die Unzu lässigkeit der Hypothese leicht anschaulich machen, und ne benbei paſst diese Argumentation auf beide vorliegende Be spiele. Prechtl nimmt an, die exorbitante Hitze der Ve brennung sey das Resultat einer gänzlichen Verdichtung d Sauerstoffgases, indem er die Wärme des erzeugten Wasse dampfes den 180sten und der gebildeten Kohlensäure d 600sten Theil der durch Verdichtung des Sauerstoffgases erzeu ten Hitze nennt; allein dann müſste diese Verdichtung noth wendig auch wirklich vorhanden seyn. Setzen wir aber[1] i Mittel nach Biot und Arago, nach Berzelius und Dulon die Dichtigkeit des Sauerstoffgases = 1,10319, die des Wasse stoffgases nach eben diesen Autoritäten = 0,07101, die der at mosphärischen Luft = 1 angenommen, so ist die mittlere Dich tigkeit eines Gemenges aus 2 Volumen Wasserstoffgas und 1 Vo lumen Sauerstoffgas = 0,41506, die Dichtigkeit des erzeugte Wasserdampfes aber nach meinen eigenen Versuchen am *höch sten* = 0,63619, und die Verdichtung ist daher nur eine 0,53

1 Vergl. *Gewicht, specif.* Bd. IV. S. 1506.

fache, durch welche nicht mehr als 80° C. Wärme erzeugt werden könnte, wenn eine 5fache 290° C. giebt, vorausgesetzt, dafs durch Verdichtung des Wasserstoffgases gleich viel Wärme, als durch die des Sauerstoffgases frei würde, was sich mit Grund bezweifeln läfst. Ein ebenso ungünstiges Resultat giebt das Verbrennen der Kohle in Sauerstoffgas. Da aus 1 Volumen Sauerstoff durch Aufnahme des Kohlenstoffes ein Volumen Kohlensäure erzeugt wird und beider Dichtigkeiten sich verhalten wie 1,10319 : 1,52181, so entsteht durch das Verbrennen nur eine 0,38fache Verdichtung, wodurch also nur 22° C. Wärme frei werden könnten. Berzelius[1] bezweifelt daher mit vollem Rechte, dafs eine so geringe Verdichtung den Grund der aufserordentlichen erzeugten Hitze abgeben könnte.

177) Die einfache Würdigung offen vorliegender Thatsachen führt uns indefs zu einem unwiderleglichen Argumente, woraus die Unzulässigkeit der bisherigen Hypothesen zur Evidenz hervorgeht und welches uns zugleich nöthigt, die Sache aus einem veränderten Gesichtspuncte zu betrachten. Sollen die Verbrennungsprocesse vollständig erklärt werden, so sind vor allen die, viele derselben begleitenden, *Explosionen* wohl zu berücksichtigen. Wird eine Stahlfeder in Sauerstoffgas verbrannt, so entwickelt sich zwar eine unglaubliche Hitze, so wie durch ein Essenfeuer; entweicht der Dampf aus gröfseren Maschinen, so ist dieses mit einer aufserordentlichen Ausdehnung verbunden, allein es fehlt das Wesentliche der Explosionen, welches darin besteht, dafs plötzlich eine nicht wohl anders als durch gröfste Hitze erzeugte Ausdehnung eintritt, die aber ebenso schnell wieder schwindet, so dafs die Luft in den erzeugten leeren Raum mit Heftigkeit eindringt und dadurch das eigenthümliche platzende Getöse hervorruft. Um einen festen Anhaltpunct zu haben, dürfen wir nur ein allseitig bekanntes Phänomen, das Verpuffen des Knallgases, in nähere Betrachtung ziehen, welches ohnehin schon vielfach dazu gedient hat, die gangbaren Theorieen des Verbrennens anzufechten. Bei der Verpuffung des Knallgases verbindet sich dem Gewichte nach 1 ℔. Wasserstoffgas mit 8 ℔. Sauerstoffgas und bildet Wasser. Setzen wir die specifische Wärme des letzteren = 1, die des Wasserstoffgases = 3,2936 und die des Sauer-

[1] Jahresbericht. 1831. S. 60.

stoffgases = 0,2361, so ist die mittlere specifische Wärm des Erzeugnisses

$$\frac{3{,}2936 + 8 \times 0{,}2361}{9} = 0{,}5758.$$

Waren also die Temperaturen der Gase anfänglich = 100° C. so müfste die des entstandenen Wassers = 57°,58 werden also eine Temperaturverminderung von 42°,42 C. erfolgen, stat dafs die Erfahrung eine bedeutende Wärmezunahme giebt[1] Die Einwendung, dafs kein eigentliches Wasser, sondern nu Wasserdampf gebildet werde, hilft nicht genügend, denn di specifische Wärme des Wasserdampfes ist 0,8470 und es müfst daher unter den angegebenen Bedingungen doch immer noc eine Temperaturverminderung von 27°,12 C. eintreten. E findet zwar allerdings eine Verdichtung statt, wie so eben ge zeigt wurde, allein diese ist so gering, dafs daraus keine Quel der enormen erzeugten Hitze abgeleitet werden kann. Wi grofs die bei dieser Verbrennung erzeugte Hitze eigentlich se ist zwar schwer zu messen, allein auf jeden Fall müssen w sie als sehr grofs annehmen, da sich Glühhitze vorhanden zei und der blendend weifsen Glühhitze am Tage nach POUILLE 1500° C. zugehören (§. 165). Wollen wir aus Rücksicht a die enormen Wirkungen des Knallgasgebläses die durch dess Verbrennung bewirkte doppelt so grofs, also zu 3000° C. an nehmen, so würde es unmöglich seyn, den Ursprung einer sol chen Hitze aus irgend einer quantitativen Anhäufung der ge gebenen Wärme abzuleiten. H. DAVY[2] schlägt indefs sel sinnreich vor, die durch Verbrennung der Gase erzeugte Wärm aus der Expansion zu bestimmen. Wenn Cyanogen un Sauerstoffgas im Verhältnifs von 1 und 2 in einer Glasröhre verpul fen, so dehnen sie sich um das 15fache ihres anfänglichen Volumen aus, wonach er annimmt, dafs zu dieser Ausdehnung eine Tem peraturerhöhung von 5000° F. = 2778° C. erfordert werd Wollen wir diese nur näherungsweise angegebene Gröfse ge nauer bestimmen, so giebt, das ursprüngliche Volumen ab gezogen,

---

1 Vergl. SCHOLZ Physik. 2. Aufl. S. 284. L. GMELIN Handbu d. Chemie Th. I. S. 150 setzt hinzu, dafs sich die Verbindungen d Zinks, Bleis und Kupfers mit Sauerstoff und ohne Zweifel noch vie andere ebenso verhalten.

2 Philos. Trans. 1817. p. 67.

$$\frac{14}{0{,}00375} = 3733^\circ \text{ C.}$$

die im Momente des Verbrennens statt findende Wärme, die beim Verpuffen des Knallgases noch gröfser seyn müfste.

178) Diese Betrachtungen beziehen sich indefs blofs auf den Procefs des Verbrennens, die Erscheinungen des Explodirens sind aber hiervon noch wesentlich verschieden. Die entwickelte Hitze erzeugt eine unglaubliche Expansion, allein diese ist nur momentan vorhanden; es tritt sofort ein leerer Raum ein, den die zurückgedrängte, dadurch verdichtete und mit vermehrter Heftigkeit zurückströmende Luft wieder einnimmt, worauf der entstehende heftige Knall beruht. Dafs sich dieses wirklich so verhalte, zeigt die Erfahrung; denn man hat elektrische Pistolen, welche im Augenblicke nach der Explosion verschlossen werden und daher nicht knallen. Soll daher das Phänomen der Verpuffung vollständig erklärt werden, so darf die Frage, wo der erzeugte Wärmestoff bleibe, und wie er so augenblicklich wieder verschwinden könne, um diese Erscheinung hervorzubringen, dabei nicht übersehen werden. Wollte man daher, um dieses genauer zu analysiren, die durch Verpuffung des Knallgases entstehende Wärme aus der gröfseren Dichtigkeit des gebildeten Wasserdampfes, verglichen mit der des Gasgemenges, ableiten, so müfste Wasserdampf von dieser Dichtigkeit wirklich vorhanden seyn und der Ueberschufs der Wärme könnte dann genau nur ausreichen, um den Dampf bis zur ursprünglichen geringeren Dichtigkeit des Gasgemenges auszudehnen; statt dessen aber findet eine momentan vorübergehende so enorme Ausdehnung statt, wie sie nur durch eine Temperaturerhöhung um mehrere Tausende von Graden bewirkt werden kann, und verschwindet ebenso schnell wieder, ohne dafs sich ihr Entstehen und ihr Verschwinden aus den gewöhnlichen Gesetzen ableiten läfst. Bei diesen Explosionen fällt auch das Argument weg, welches in vielen Fällen gemacht wird, nämlich dafs die sogenannte Expansionswärme, wodurch die Gasarten ihre bedeutende Ausdehnung erhalten, bei ihrer Verdichtung zum Vorschein komme, denn bei den Detonationen, z. B. des Schiefspulvers, der Knallsalze u. s. w., findet vielmehr eine bedeutende Expansion statt und ist zugleich von einer unermefslichen Wärmeentbindung begleitet.

179) Nach der oben aufgestellten, für alle Wärmephäno-

mene als zureichend angegebenen Hypothese müssen sich auch diese Resultate erklären lassen. Wenn wir annehmen, dafs die Atome der Körper durch den Conflict zweier Kräfte, der Anziehung und Abstofsung, im stabilen Gleichgewichte gehalten werden, und wenn wir zugleich die Wärme für diese repulsive Kraft selbst oder ihren Träger halten, so mufs nothwendig dieses Gleichgewicht durch jede chemische Wirkung gestört werden und somit zugleich ein verändertes Verhaltnifs der Thätigkeiten beider Kräfte statt finden. Denken wir u also, um in einem gegebenen Falle einen besseren Anhaltpun zu haben, die Molecüle der beiden Gasarten im Gemenge de Knallgases einzeln bestehend als Kügelchen des Sauersto und Wasserstoffradicals mit Wärmesphären so umgeben, da der Attractionskraft ungeachtet durch überwiegende Stärke d Abstofsungskraft (Wärme) Repulsion statt findet; es erha dann ferner durch mechanischen Druck oder Glühhitze die A tractionskraft zwischen den Atomen des Sauerstoffs und Wa serstoffs ein solches Uebergewicht, dafs diese mit einand eine neue Verbindung eingehen, so mufs nothwendig durch d überwiegende Thätigkeit der Attraction dieser Atome geg einander ihre Attraction gegen die umgebenden Wärmespha geschwächt, vielleicht gar = 0 werden und dieser Moment i dann derjenige, in welchem die frei gewordene Wärme d neu gebildeten Molecüle gewaltsam aus einander treibt. In e nem gleichfalls verschwindend kleinen Zeitmomente tritt a die Attractionskraft der neuen Molecüle gegen die frei gewo dene Wärme wieder in Thätigkeit, die Wärme wird aberm gebunden, und zwar im Verhaltnifs der specifischen Capacitä der ursprünglichen und des neu entstandenen Körpers, es w das stabile Gleichgewicht wieder hergestellt, und es kann ebe gut ein Ueberschufs als ein Mangel an Wärme erfolgen, wo dann zugleich zu berücksichtigen ist, dafs die an die Umgebu gen übergegangene Wärme von diesen nicht so schnell wie hergegeben wird. Eine absolute Verminderung der Wär entsteht höchst wahrscheinlich bei der Verpuffung des Kna gases, weswegen die erzeugten Wasserdämpfe nicht in d theoretisch vorauszusetzenden Expansion vorhanden sind, so dern nach einer weit stärkeren Expansion gleichsam verschwu den der atmosphärischen Luft den Eintritt in den leeren Rau gestatten. Es liefsen sich diese, auf alle Verbrennungsproces

anwendbaren Sätze beim Knallgase durch allerdings schwierige, aber dennoch gewiſs nicht unmögliche Versuche sogar auf experimentalem Wege prüfen.

180) Zwei bei diesen Betrachtungen sich nothwendig aufdringende Fragen lassen sich ohne Schwierigkeit so beantworten, daſs man aus ihnen nicht wohl Argumente gegen die aufgestellten Sätze hernehmen kann. Zuerst begreift man zwar sofort, daſs eine Entzündung des Knallgases durch Compression eingeleitet werde, sofern die Molecüle der Gase dadurch einander näher kommen und ihre Anziehung das Uebergewicht erhält; dagegen aber könnte man fragen, wie diese Wirkung auch durch Wärme möglich werde, die im Gegentheil die Molecüle weiter von einander zu entfernen diene. Die Antwort liegt sehr nahe bei der Sache. Allerdings wird die Repulsion der Molecüle durch Wärme vermehrt, allein ihre chemische Anziehung wird dadurch zugleich in einem so überwiegenden Grade gesteigert, daſs sie mit gänzlicher Ueberwindung der vermehrten Repulsion sich dennoch mit einander verbinden. Hiermit stimmt die Erfahrung vollkommen überein, denn geringe Hitze dehnt das Knallgas aus, stark gesteigerte leitet die Vereinigung zu Wasser ein (§. 148), eigentliche Glühhitze bewirkt eine momentane Verbindung. Wie stark die Wärme in dieser Beziehung wirke, zeigt unter andern der Diamant, welcher genügend erhitzt im Sauerstoffgas weiter brennt, das weiſsglühende Eisen, welches im Luftstrome verbrennt und sogar dem Kali seinen Sauerstoff entreiſst, anderer zahlloser Beispiele nicht zu gedenken. Die Beantwortung einer zweiten Frage, welche PRECHTL[1] keineswegs übersehen hat, nämlich wie es zugehe, daſs bei chemischen Verbindungen unter Ausscheidung von Wärme Vergröſserung des Volumens eintrete, da doch die Trennung bestehender Verbindungen und die Bildung neuer eine in letzteren vorhandene stärkere Anziehungskraft voraussetze, ist gleichfalls nicht schwierig. Zuerst findet diese Argumentation auf verschiedene chemische Verbindungen, namentlich das Verbrennen des Knallgases, des Kohlendampfes im Sauerstoffgas u. s. w. keine Anwendung, weil hierbei keine bestehenden Verbindungen getrennt werden; allein wenn Letzteres auch statt findet, so müssen allerdings die Mo-

1 A. a. O.

lecüle in der neuen Verbindung einander näher seyn, weil di Attractionskraft (die chemische Verwandtschaft als mechanisc wirkend gedacht) zwischen ihnen gröfser ist; jedoch folgt hie aus keineswegs, dafs die neu gebildeten Partikelchen, die Ver bindungen der einfachen Molecüle zu zusammengesetzten, ein ander näher liegen müssen, und daher kann allerdings der au der neuen Verbindung hervorgegangene Körper ein gröfsere Volumen erhalten. Im Allgemeinen ist übrigens Letzteres d theoretischen Argumentation allerdings zuwider, und wirklic findet es auch bei den einfachsten Verbindungen nicht stat indem z. B. die Dichtigkeit des Wasserdampfes gröfser ist, a die mittlere der constituirenden Gasarten, und die Dichtigke der Kohlensäure gröfser, als die des Sauerstoffgases, ande Beispiele nicht zu erwähnen.

4) Wärmeerzeugung durch den Lebensprocefs de Vegetabilien und Animalien.

181) Die Processe des Lebens und Wachsens, so wie d Veränderungen der Vegetabilien und Animalien, gehören ihre Wesen nach zu den chemischen, obgleich sie durch eine eigen thümliche Kraft, die wir *Lebenskraft* nennen, ohne sie genau zu bestimmen, bedingt sind; denn im Ganzen kommen sie au Verbindungen und Trennungen einfacher und zusammengesetz ter Körperelemente oder Partikelchen zurück, und sofern che mische Processe so häufig, wenn nicht vielmehr allgemein, m Erzeugung von Wärme verbunden sind, bieten sich Gründ dar, auch bei diesen chemischen Actionen im Allgemeinen Wärme erzeugung zu vermuthen, wenn gleich andere bedingende Um stände die erzeugte Wärme wieder binden und daher ihr mefs bares Hervorkommen aufheben können. Hinsichtlich der Thier stimmt diese Theorie mit der Erfahrung vollkommen überein, j in einem wahrhaft überraschenden Grade, sofern man die ani malische Wärmeerzeugung einen Verbrennungsprocefs nenne könnte, weil Sauerstoffgas absorbirt wird, nicht zu gedenke dafs die erzeugte Wärmemenge der Quantität des gebundene Sauerstoffgases und der Leichtigkeit seiner Aufnahme im Gan zen proportional ist; bei den Vegetabilien gab die Erfahrun sehr abweichende Resultate, was aus theoretischen Gründe schon zu ahnen war, weil im unverkennbaren Gegensatze de

animalische Lebensprocefs Bindung des Sauerstoffgases fordert, während im Gegentheil die Pflanzen dieses Gas aushauchen.

182) a) Den *Vegetabilien* legten schon Aristoteles[1], Theophrast[2], Cicero[3] und Plinius[4] eine eigenthümliche innere Wärme bei, Baco[5] dagegen sprach sie ihnen ab. Ueber die vorausgehende Hauptfrage, ob die Vegetabilien, gleich den unorganischen Körpern, stets die Temperatur ihrer Umgebung annehmen, kann nicht wohl ein Streit obwalten. Täglichen Erfahrungen nach findet man saftreiche und kühle Pflanzen an heifsen Planken und Mauern, woraus jedoch nicht folgt, dafs sie die Wärme durch ihren Organismus binden, weil sie erstlich stark ausdünsten und hierdurch viel Wärme verlieren, und zweitens weil ihre feinen Wurzelfasern beträchtlich tief in den feuchten, kühlen Boden gesenkt sind, aus welchem sie den kühleren Saft um so viel begieriger aufnehmen, je stärker ihre Verdunstung ist. Ebenso bekannt ist die Erfahrung, dafs die Säfte in lebenden Pflanzen weniger leicht gefrieren, als Wasser, dafs lebende Pflanzentheile der Kälte länger und sicherer widerstehn, als abgeschnittene; auch sieht man sie oft ungefroren in gefrorener Erde stehen. Hierauf läfst sich aber erwidern, dafs der Gefrierpunct der Pflanzensäfte noch nicht genau ermittelt worden ist, wahrscheinlich aber etwa einen Grad oder mitunter sogar einige Grade tiefer liegt, als der des Wassers, vorzüglich weil sie sich nach einem weisen Naturgesetze im Herbste zu verdicken pflegen[6]. Aufserdem aber läfst sich dieses aus dem Aufsteigen des wärmeren Saftes herleiten, welches im Winter nicht aufhört, da einzelne in ein Treibhaus gezogene Pflanzentheile, ungeachtet der Erstarrung der äufsern, zu grünen fortfahren.

183) Aufser diesen allgemeinen Erfahrungen haben mehrere Physiker die Frage über eine eigenthümliche Wärmeerzeugung der Pflanzen durch umfassende Versuche zu beantworten

---

1 In dem ihm zugeschriebenen Werke de plantis. L. I. cap. 2.

2 Opera ed. J. G. Schneider Saxo. T. II. L. V. c. 18.

3 De nat. Deor. L. II. c. 9.

4 Hist. Nat. L. XVI. c. 76.

5 Nov. Organon. aph. 12.

6 Vergl. Strömer in Schwed. Abhandl. 1739 u. 40. S. 116. Senebier Physiol. végét. T. III. p. 316. Journ. de Phys. T. XL. p. 173.

gesucht. Nach den früheren Untersuchungen von J. Hunter und J. D. Schöpf[2], die für eine eigenthümliche Wärme de Vegetabilien sprachen, schienen die weitumfassenden von Hermbstädt[3] im Garten zu Harpke bei Helmstädt angestellten, s wie die von Salomé[4] und Slevogt[5] die Sache aufser Zweif zu setzen. Die in die Bäume eingesenkten Thermometer blie ben nach fortgesetzten, übereinstimmenden Beobachtungen be der Hitze stets hinter der äufseren Temperatur zurück un übertrafen dieselbe im Winter bei der Kälte, woraus man m Sicherheit auf eine Bindung und Entbindung der Wärme schlie fsen wollte[6]. Diese Ansicht suchte Nau[7] durch Entkräftun der Gründe, so wie durch eine grofse Reihe neuer Versuch zu widerlegen, indem er die Abweichungen der Temperatu der Vegetabilien von der der Umgebung als eine Folge de stets aufsteigenden Saftes betrachtete, welcher im Winter au der wärmeren Erde aufsteigend die Temperatur auf gleich Weise zu erhöhen, als im Sommer aus dem kälteren Bode kommend sie zu vermindern vermöge. Für diese letztere Ansicht erklärte sich unter Andern auch Treviranus[8], statt daſ Rudolphi[9] geneigt ist, den Pflanzen eine eigene Wärmeproductionskraft beizulegen. Um den unbestimmbaren Einfluſ der Erdwärme auszuschliefsen, brachte Fontana[10] in eine ausnehmend zahlreichen Reihe von Versuchen die in Töpfe befindlichen Pflanzen in einen Keller, und fand vermittelst eines feinen Thermometers ihre Temperatur der äufseren vollkommen gleich. Hierbei mufs jedoch wohl berücksichtigt werden, dafs die Pflanzen sich dabei in einem ihrer Natur nich angemessenen Zustande befanden, woraus eine Beschränkun

1 Philos. Trans. 1778. P. I. p. 7. Journ. de Phys. T. IX. p. 294

2 Der Naturforscher. St. XXIII. S. 1.

3 Magazin d. Ges. naturf. Freunde. Jahrg. II. S. 316. Ann. d Chim. T. XL. p. 113.

4 De la Metherie Considérations sur les êtres organisés. T. II p. 296. Hermbstädt's Archiv der Agriculturchemie. Th. II. S. 154.

5 Hermbstädt's Bulletin. Th. III. S. 46.

6 Ann. de Chim. T. XL. p. 113. Journ. de Phys. T. LXX. p. 22

7 Schriften der Wetterauer Gesellschaft. Th. I. Abth. I. S. 27. Journ. de Phys. T. LXXII. p. 193.

8 Biologie. Th. V. S. 14.

9 Physiologie. Th. I. S. 168.

10 Harles u. Ritter Neues Jahrb. der ausländ. med. chir. Lit. Th V. St. 2. Aus Efemeridi chemico-mediche. 1805.

ihrer natürlichen Lebensfunctionen erwachsen konnte. Inzwischen wurde dieser Frage nochmals eine sehr ausführliche Untersuchung durch FRANZ VON PAULA SCHRANK[1] zu Theil, welcher die Gründe für und wider prüfte, zugleich aber eine Menge eigener Beobachtungen, insbesondere über Pflanzen, zusammenstellte, die sich unter dem Schnee ungefroren erhalten und nicht selten, wie namentlich die Brunnenkresse, durch Erwärmung kleine Gewölbe um sich her bilden, oder im Wasser stehend beim Gefrieren desselben den sie umgebenden Theil flüssig erhalten. In Gemäfsheit dessen entschied er dafür, dafs allerdings in den Pflanzen eine eigene Wärmequelle zu finden sey.

184) Bei dieser Lage der Sachen war es verdienstlich, dafs SCHÜBLER[2] die Widersprüche in den bis dahin erhaltenen Resultaten durch abermalige genaue Versuche zu beseitigen suchte, wozu ihn insbesondere der Umstand vermochte, dafs nach früheren, an einem Kastanienbaume zu Genf gemachten Beobachtungen die mittlere Temperatur desselben, wie ein in ihn eingesenktes Thermometer sie gegeben hatte, für ein ganzes Jahr sogar etwas geringer war, als die der umgebenden Luft[3]. In die Bäume, sowohl der Nadelhölzer als auch der Laubhölzer, wurden an der Nordseite Thermometer bis in das Centrum eingesenkt, zu verschiedenen Tageszeiten beobachtet und mit correspondirenden, in freier Luft hängenden verglichen. Hieraus ergab sich, dafs die Bäume in allen Jahreszeiten bei Sonnenaufgang eine höhere Wärme zeigen, als ihre Umgebung[4], um Mittag aber findet das Gegentheil statt; überhaupt aber zeigen die Bäume nicht auf gleiche Weise, als die Luft, die täglichen Schwankungen, und zwar um so weniger, je tiefer und je näher den Wurzeln die Thermometer eingesenkt sind, oder je schneller und stärker die täglichen Wechsel erfolgen; im Ganzen fallen die Temperaturen beider zweimal täg-

1 Münchener Denkschriften. Th. II. Jahr 1809 u. 10. Vergl. Gött. gel. Anz. 1813. St. 123.

2 Beobachtungen über d. Temperatur der Vegetabilien u. s. w. von F. G. SCHÜBLER u. F. A. HALLER. Tüb. 1826. Auch in Poggendorff's Ann. X. 581.

3 Aus Bibl. Brit. T. I. in Schweigger's Journ. Th. II. S. 189. Landwirthschaftl. Blätter von Hofwyl. Aarau 1817. Ht. V. S. 5.

4 Dieses ist ohne Zweifel eine Folge davon, dafs dann gerade die Temperatur der Luft sinkt.

lich zusammen und sind einander im ganzen Jahre gleich, bis auf einen unbedeutenden, 0°,1 bis 0°,4 C. betragenden Unterschied, welcher, wie es scheint, als Folge von Beobachtungsfehlern oder von Zufälligkeiten zu betrachten ist. Hieraus ergiebt sich also evident, dafs den Vegetabilien eine eigenthümliche Kraft der Erzeugung und Bindung der Wärme abzusprechen und die Abweichung ihrer Temperatur von der sie umgebenden lediglich durch die schlechtere Leitung, das Aufsteigen des Saftes und die Ausdünstung abzuleiten sey. Eben dieses Resultat geht aus einer abermaligen Reihe von Versuchen hervor[1], welche entscheiden sollten, ob die Säfte der Pflanzen der Kälte Widerstand leisten und ihre Wärme daher längere Zeit, ohne zu gefrieren, beibehalten. Es ergab sich daraus, dafs die Bäume sehr langsam erkalten, wenn die Temperatur unter den Gefrierpunct herabgeht, ohne Zweifel weil die gefrierenden Säfte Wärme entwickeln; allein das umgekehrte Verhalten findet statt, wenn die Wärme wieder steigt, und es ist daher klar, dafs neben andern bekannten Gesetzen hierbei blofs die Wärmeleitung sich wirksam zeigt. Hieraus und aus der starken Verdunstung wird dann auch erklärlich, dafs die Temperatur der Bäume im Sommer meistens etwas niedriger ist, als die der äufseren Luft. Auffallend war der Umstand, dafs die Bäume im Frühling, namentlich im März, etwas wärmer, als ihre Umgebung waren, was man zwar von der höheren Temperatur des aus tieferen Erdschichten in ihnen aufsteigenden Saftes abzuleiten geneigt ist, allein hiergegen streitet die wirklich dann noch statt findende gröfsere Kälte des Bodens, wie sie aus den Messungen mit Thermometern evident hervorgeht[2]. Diese durch die genannten Genfer Beobachtungen gleichfalls bestätigte Thatsache ist daher nicht wohl anders, als aus einer eigenthümlichen, durch die höhere Lebensthätigkeit beim Aufsteigen der Säfte herbeigeführten Wärmeproduction abzuleiten. Ob man daher berechtigt ist, mit Göppert[3], welcher dieses Problem so umsichtig geprüft und zugleich viele belehrende Versuche über das Gefrieren der Pflanzensäfte angestellt hat, den lebenden Pflanzen jede Art ei-

1 W. Neuffer Inauguraldissert. Unter dem Präs. von Schübler. Tüb. 1829.

2 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. 307.

3 Ueber die Wärmeentwickelung in Pflanzen u. s. w. Bresl. 1830. 8. S. 138 ff.

genthümlicher Wärmeerzeugung abzusprechen, bleibt noch immer fraglich, und die neuesten Versuche berechtigen vielmehr, ihnen eine solche beizulegen. Inzwischen läfst sich mit Gewifsheit annehmen, dafs die in den erwähnten zahlreichen Versuchen gefundenen Abweichungen ihrer Temperaturen von der ihrer Umgebungen im Ganzen als eine Folge ihres schlechteren Leitungsvermögens, der Verdunstung und des in ihnen aufsteigenden Saftes zu betrachten sind.

Ganz neuerdings hat Dutrochet[1] mit Anwendung eines hermoelektrischen Thermometers Versuche angestellt, wonach lie Pflanzen allerdings Wärme entwickeln, die ihnen aber zu inem so grofsen Theile durch Verdunstung entzogen wird, dafs ie dadurch unter ihre Umgebung herabgehn. Hebt man den etzteren Einflufs auf, so zeigt sich eine Wärmeerzeugung von ?,25 bis 1° C. und wohl noch mehr, wonach sie also in dieer Beziehung selbst die sogenannten kaltblütigen Thiere übereffen, z. B. den grünen Frosch (*rana esculenta*), den Flufsrebs (*astucus fluviatilis*) und die rothe Schnecke (*limax ifus*). Die Wärmeerzeugung findet in den grünen Theilen r Pflanzen statt, ist allen Vegetabilien eigen, und zugleich ränderlich, indem sie von Morgens 10 Uhr bis Mittags 3 r in den verschiedenen Pflanzen ihr Maximum erreicht und an wieder sinkt. Auch die Dunkelheit unterbricht diesen ocefs nicht, schwächt ihn aber allmälig, bis er in einigen Ta-ı ganz aufhört. Van Beck[2] wiederholte diese Versuche : einem gleichen Apparate und erhielt im Ganzen eine Betigung der gefundenen Resultate. Beide wählten aber ht Bäume, sondern Pflanzen, Ersterer *sempervivum tectorum*, *horbia lathyris*, *vicia faba* u. a., Letzterer *sempervivum tulatum*, *sedum cotyledon* u. s. w.

Wenn man überlegt, wie gering die Wärmeerzeugung in Pflanzen ist, und wie ausnehmend vielfache Umstände sie ingen, so darf man sich nicht wundern, dafs der Streit über es Problem so lange dauerte und so verschiedene Resultate ı Vorschein brachte. Dutrochet bezweifelt daher auch,

---

1 L'Institut. 7me Ann. N. 308. Edinburgh New Phil. Journ. N. · p. 103.

2 Comptes rend. 1840. N. I. Jan. 6 u. 13. Edinburgh New Phil. n. N. XLVI. p. 331.

dafs die von Becquerel und Mirbel an einem Baumaste wahrgenommene Temperaturerhöhung von 3° C. eine durch den Lebensprocefs erzeugte gewesen sey; auch konnte er nie irgend eine Wärmeproduction in den holzigen Pflanzentheilen wahrnehmen.

185) Wenn schon die Frage über eine eigenthümliche Wärme der Vegetabilien so widersprechend beantwortet wurde, so ist dieses noch mehr der Fall bei einer andern, nahe verwandten, über aufsergewöhnliche Wärmeproduction der Blüthen einiger Pflanzen in der kurzen Periode ihres Aufblühens oder der Befruchtung, indem hierbei kaum zu bezweifelnde entgegengesetzte Angaben einander so grell entgegenstehn, dafs die daraus entspringende Ungewifsheit auf eine unangenehme Weise afficirt[1]. Einer der Ersten, welcher diese spontane Wärmeentwickelung an den Kolben des *arum italicum* gewahrte, ohne jedoch den Grad der Wärme thermometrisch zu bestimmen, war Lamark[2]. Diese Beobachtung wurde bestätigt und näher bestimmt durch Sennebier[3], welcher in die aufblühenden Kolben der Arum-Arten die Kugel eines feinen Thermometers senkte. Die Wärme stieg von 3 Uhr Nachmittags an, erhob sich über die der äufseren Luft und erreichte zwischen 6 bis 8 Uhr ihr Maximum von 8°,75. Wenig Gewicht kann die Bemerkung von Desfontaines[4] haben, dafs man diese Wärme schon durch das Gefühl wahrnehmen könne, und wenn C. C. Gmelin und Schweykert[5] versichern, die erwähnte Erscheinung am *arum italicum* 18 Jahre beobachtet zu haben, Schultes[6] aber eigene 10jährige Beobachtungen am *arum maculatum* erwähnt, so mufs man bedauern, dafs der Mangel thermometrischer Bestimmungen diese Angaben zweifelhaft macht. Das gewichtigste Zeugnifs für eine sehr mefsbare Wärmeentwicke-

1 Eine sehr vollständige Zusammenstellung der früheren Beobachtungen findet man in Göppert über die Wärmeentwickelung u. s. w. S. 178.

2 Encyclop. method. T. III. p. 9. Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Gött. 1807. S. 229.

3 Physiologie végétale. T. III. p. 313.

4 Flora atlantica. T. II. p. 328.

5 Flora badensis. T. III. p. 585. Nach Göppert's Wärmeentwickelung. S. 179.

6 J. C. Smith Anleitung zum Studium der Botanik. S. 71. Ebend.

lung der Blüthenkolben einer auf der Insel Bourbon sehr häufig vorkommenden Arum-Species ist das von Hubert, welches Bory de St. Vincent[1] bekannt gemacht hat. Hierin ist die Erscheinung mit allen Nebenbedingungen so einfach und durchaus glaubwürdig beschrieben, dafs man keiner Beobachtung ferner Glauben schenken dürfte, wenn man diese in Zweifel ziehen wollte. Inzwischen mufste es auffallen, dafs Th. de Saussure[2], der Erzählung von Sennebier zuwider, am *arum italicum* keine Erhöhung der Temperatur wahrzunehmen vermochte, welches er jedoch davon ableitet, dafs diese Pflanze zu Genf keine reifen Früchte bringt; doch beobachtete er dieselbe bei 4 Exemplaren des *arum maculatum*, und setzte die Ursache in eine stärkere Bindung des Sauerstoffgases während dieser Periode, weil die Blüthen gleichzeitig vieles Wasser ausdünsten. Um auch geringere Wärmegrade messen zu können, bediente sich derselbe eines feinen *Luftthermometers*, eine Glaskugel an einer langen engen Röhre, in welcher letzteren ein kleiner Wassercylinder durch die Ausdehnung der Luft bewegt wird. Vermittelst dieses Mikrocalorimeters gewahrte er eine höhere Temperatur an der Blüthe des Kürbis, der *bignonia radicans* und der Tuberose. Nicht minder beobachtete auch H. Schultz[3] bei einem im botanischen Garten zu Berlin befindlichen kräftigen Exemplare von *Caladium pinnatifidum*, dafs die Temperatur der Blüthe die der Luft um 4° bis 5° übertraf.

186) Alle diese Thatsachen kannte Göppert, wie nicht minder die mehrere Jahre fortgesetzten Beobachtungen, welche L. C. Treviranus[4] an den verschiedensten Arum-Arten gemacht hatte, die aber alle ein negatives Resultat gaben, indem er nie eine Erhöhung der Temperatur wahrnehmen konnte. Göppert entschlofs sich daher gleichfalls zu einer Reihe von Versuchen, wobei er ein noch empfindlicheres Mikrocalorimeter anwandte, als welches de Saussure gebraucht hatte; allein es

[1] Voyage dans les quatre principales îles d'Afrique. 3 T. 8. Par. T. II. p. 68. Daraus in Journ. de Phys. T. LIX. 280.

[2] Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 279.

[3] Die Natur der lebendigen Pflanze. 2 Th. 1828. S. 185. Nach Göppert a. a. O. Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXI. p. 88.

[4] Zeitschrift für Physiologie u. s. w. von F. Tiedemann u. s. w. Darmst. 1829. Th. III. S. 257.

gelang ihm nicht, bei den verschiedenen Arum-Arten, so wi bei 87 andern Pflanzen irgend eine Wärmeentwickelung z finden. Hiernach bezweifelte also auch dieser Gelehrte di spontane Wärmeproduction der Pflanzen, als Folge ihres Le bensprocesses, selbst wenn dieser zur Zeit des Aufblühens a meisten gesteigert ist. Bleibt dieses immerhin noch zweifel haft, so ist dagegen die Bemerkung völlig gegründet, daſs man che Beobachter, namentlich auch Bernhardi[1], durch das Ge fühl getäuscht wurden, wonach die Staubbeutel wegen besser Wärmeleitung vor dem Aufplatzen kälter zu seyn scheine als nachher. Inzwischen sind noch einige spätere Beobachtun gen erhöheter Wärme der Blüthen bekannt geworden, z. I von G. Vrolik und W. H. de Vriese[2], welche dieses b dem Spadix einer *colocasia odora* im April 1835 wahrnahme Göppert[3] selbst aber beobachtete später bei *arum dracuncul* eine bis 8°,75 C. steigende höhere Wärme, als die der Umge bung; sie trat in der 17. Stunde nach der Entwickelung d Blume ein, dauerte 32 bis 36 Stunden und hatte ihren Haupt sitz in den Staubgefäſsen. Ebenso maſsen van Beck un Bergsma[4] mittelst eines thermomagnetischen Apparates di Wärme im Spadix der *colocasia odora*[5] = 43° C., währen die der Umgebung nur 21° C. betrug. Das Nämliche beobach tete Brongniart, Dutrochet aber bediente sich zu seine Versuchen gleichfalls eines thermoelektrischen Apparates, un fand mit demselben, daſs der Spadix von *arum maculatu* eine Wärmezunahme zeigt, welche ungefähr zwei Tage v seinem Oeffnen anfängt, fortwährend zunimmt und im Augen blicke des Oeffnens ihr Maximum von 11° bis 12° C. über di der Umgebung erreicht. Hierbei erhält sie sich ungefähr zw Stunden, nimmt dann ab und verschwindet nach etwa zwöl Stunden gänzlich[6]. Uebrigens entwickeln sowohl die männli chen, als auch die weiblichen Blüthentheile dieser Pflanze

1 Römer's Archiv d. Botanik. Th. III. S. 446.

2 Tijdschrift voor Naturlijke Geschiedenis en Physiologie. Amst 1835. T. II. p. 396.

3 Froriep Notizen. Th. XLIX. S. 136.

4 L'Institut. 1839. N. 275. p. 111.

5 Diese Pflanze hieſs früher *arum cordifolium*, an welcher Bo de St. Vincent seine erwähnten Beobachtungen machte. S. ebend.

6 L'Institut. 1839. N. 280. p. 151.

Wärme, welche am Tage gröfser ist, als während der Nacht, in der ersten Nacht hält sie jedoch, wenn auch im geschwächteren Grade, an und verschwindet in der zweiten gänzlich[1].

Hiernach müssen wir also den Pflanzen im Allgemeinen eine durch ihr vegetabilisches Leben bedingte Kraft der Wärmeerzeugung beilegen und eine höhere durch den gesteigerten Lebensprocefs während ihres Blühens hervorgerufene. Da wir das eigentliche Wesen des Lebens nicht kennen, so läfst sich nicht wohl mit Sicherheit entscheiden, ob dieses an sich und unmittelbar die Ursache dieses Vermögens der Wärmeerzeugung sey, oder ob diese durch die chemische Assimilation der Säfte zu neuen Bildungen hervorgerufen werde; für die stärkere Wirkung während des Blühens gilt das Nämliche, es sey denn, dafs hierbei nach den erwähnten Versuchen von de Saussure eine bedeutende Aufnahme des Sauerstoffgases statt finde, um mit dem ausgehauchten Wasserstoff der Blumen Wasser zu bilden, und dafs in diesem langsamen Verbrennungsprocesse die Ursache der so bedeutenden Wärmeproduction zu suchen sey. Auf jeden Fall dürfen wir diese Wärmequelle mit der durch Chemismus in Parallele setzen.

187) b) Alle *lebende Thiere* besitzen das Vermögen der Wärmeerzeugung und die Kraft, einer bedeutenden äufseren höheren oder niedrigern Temperatur zu widerstehen, allein in einem so ungleichen Grade, dafs man diese Fähigkeit bei einigen Thieren ebenso lange, als bei den Vegetabilien in Zweifel gezogen hat. Dutrochet[2] hat das Ganze auf eine interessante Weise unter einen allgemeinen Gesichtspunct zurückgebracht. Die eigenthümliche Wärme ist am gröfsten bei Thieren, welche elastische Luft athmen, mit Ausnahme der Gasteropoden, deren Lungen sehr klein sind. Bei Thieren, welche durch Kiemen die im Wasser enthaltene Luft athmen, so wie bei den Mollusken, ist die Wärme sehr gering, und steht selbst der bei den Pflanzen wahrgenommenen nach, deren Ursache er in einer Art Athmung des aus ihren grünen Theilen entweichenden Sauerstoffgases findet, was wohl sehr bestritten werden könnte; richtiger aber setzt er ihr Wärmeproductionsvermögen im gestei-

---

1 L'Institut. 1839. N. 281. p. 158.

2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93. Edinburgh New Phil. J. N. LVI. p. 152.

gerten Zustande unmittelbar nach dem der warmblütigen Thier denn die *euphorbia lathyris* erzeugte zehnmal so viele Wärm als ein Frosch, und die Arum-Arten noch mehr. Nach eine allerdings höchst merkwürdigen Naturgesetze ist übrigens b Thieren und Pflanzen die durch ihren Lebensprocefs erzeug Wärme entweder unmerklich, oder so, dafs sie sich namentlic bei den warmblütigen Thieren dem Grade nähert, wobei d Leben aufhören mufs, welchen Punct man bei 50° C. anneh men kann, dem sich die Vögel mit 44° nähern[1]. Nach eine andern höchst merkwürdigen Gesetze entnehmen die Thie von geringer Wärmeproduction Wärme aus ihrer Umgebun Thiere von hoher Wärmeproduction dagegen geben an dieselb ab; letztere können nicht leben in Temperaturen, welche di ihrige übertreffen, und erstere nicht in solchen, welche niedri ger sind, als die ihrige, wohl aber in viel höheren, z. B. Fi sche in 40° C., doch schwerlich in solchen, welche dies übersteigen[2].

Ohne es bei dieser Aufgabe gerade auf Vollständigkeit abzuse hen, welche in das Gebiet der Physiologie gehört, scheint es m angemessen, einige hierher gehörige nähere Bestimmungen bei zubringen, wobei dasjenige, was zur Wärmeproduction der Men schen gehört, vom vorzüglichsten Interesse seyn dürfte.

188) α) Bei den niederen Thierclassen ist im Allgemei nen die Wärmeproduction so gering, dafs es schwer fällt, si überhaupt nur wahrzunehmen. Die Temperatur der *Würme* weicht in der Regel nur wenig von der sehr ungleichen der Me dien ab, worin sie leben; manche erstarren bei geringer Ver mehrung der Kälte, andere, in höheren Temperaturen leben sollen nach Hunter[3] und Rudolphi[4] etwas weniger war seyn, als die Medien, worin sie sich befinden. Auf Ceylo z. B. fand John Davy[5] die Temperatur der Blutegel gen

1 Diese Angabe dürfte wohl zu hoch seyn, wie sich aus de nachfolgenden Messungen ergeben wird.

2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93. Die Angaben noch höhe rer Temperaturen, worin Fische leben sollen, zieht Dutrochet in Zwei fel. Dieses dürfte auch auf die Angabe anwendbar seyn, dafs Fische namentlich Goldfische, im Wasser von 75° C. Wärme leben sollen S. Froriep Not. Th. XXXVI. S. 57.

3 Philosophical Trans. 1775. 1776.

4 Physiologie. Th. I. S. 171.

5 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. 44.

den Medien gleich, worin sie sich befanden. Die Schnecken ziehen sich bei zunehmender äufserer Kälte in die Erde zurück, und erscheinen selbst bei nur mäfsiger äufserer Wärme dem Gefühle kalt[1]. John Davy mafs die Temperatur grofser Schnecken auf Ceylon und fand sie = 24°,45 C., etwas weniges geringer, als die Luft der Schachtel, worin sie sich befanden; die der gemeinen Austern war genau die des Meeres und eben dieses fand sowohl beim Krebse als auch bei den Krabben statt. Nach den Untersuchungen von Dutrochet[2] erscheinen alle diese Thiere leicht kälter als ihre Umgebung, weil sie in der Regel feucht sind und ihre Temperatur daher durch Verdunstung herabgeht, weswegen man sie bei anzustellenden Versuchen in Luft bringen mufs, die mit Wasserdampf gesättigt ist; allein selbst dann konnte weder er selbst, nach Berthold irgend eine Wärmeerzeugung bei den Mollusken und Anneliden wahrnehmen. Ein sehr geringes Wärmeproductionsvermögen wollen Einige bei den *Crustaceen* und *Testaceen* gefunden haben[3], Dutrochet aber giebt an, dafs alle frühere Beobachter so wenig, als er selbst, bei den Crustaceen irgend eine Eigenwärme entdecken konnten. Die *Amphibien* besitzen in einem nicht unbedeutenden Grade das Vermögen, einer äufseren höheren Temperatur zu widerstehen[4], und erzeugen, namentlich die Schildkröten, nach Hunter einige mehr Wärme, wenn sie sich in kälteren Medien befinden, als welche der für sie geeigneten Temperatur angemessen ist. Inzwischen fand John Davy auch in wärmeren Gegenden die Temperatur der Schildkröten höher, als die ihrer Umgebung, z. B. unter 2° 27′ N. B. jene 28°,89, diese 26°,35 und unter 7° 29′ S. B. jene 31°,3, diese 26°,67 C.; dagegen in der Kapstadt jene nur 16°,9, diese 16°,11 und zu Colombo jene 29°,45, diese 30°, bei einem gröfseren Exemplare aber jene 30°,56, diese 26°,67. Bei den *Reptilien* ist es schon leichter, eine Wärmeproduction wahrzunehmen, auch ist diese ihnen wohl ohne Ausnahme eigenthümlich zugehörend. Dutrochet[5] erwähnt,

1 Spallanzani Mém. sur la respiration. p. 256.
2 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93.
3 Poli Testacea utriusque Siciliae eorumque historia. T. I. P. cap. 5. 6.
4 De la Roche in Journ. de Phys. T. LXXI. p. 292.
5 A. a. O.

dafs BERTHOLD die Frösche in trockner Luft kälter als ihre Umgebung gefunden habe, was jedoch eine Folge der Verdunstung seyn mufs, denn wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, zeigten sie ihm etwa 1° C. Wärme über die der Umgebung; DUTROCHET selbst aber fand nicht mehr als 0°,03 bis 0°,05 und bei einer Kröte 0°,12 C., welche geringe Gröfse nur mittelst des thermomagnetischen Apparates mefsbar ist. Uebereinstimmend hiermit behauptet G. R. TREVIRANUS[1], bei seinen Versuchen mit Fröschen, die in einem Glase aufbewahrt wurden, keine Eigenwärme derselben wahrgenommen zu haben. JOHN DAVY aber fand zu Kandy die Wärme einer *rana ventricosa* nur 25° in Luft von 26°,67, wahrscheinlich als Folge der Verdunstung. Ebenso erhielt CZERMAK bei der *Lacerta agilis* 1°,25 bis 8°,12 C., DUTROCHET nur 0°,21, RUDOLPHI[2] dagegen fand die innere Wärme der *Lacerta maculata* = 18°,75 bei 12°,5 und die eines *proteus anguinus* = 18°,75 bei 16°,25 äufserer Temperatur. Die Temperatur der *Schlangen** fand JOHN DAVY stets höher, als die der Luft, und zwar nicht blofs unmerklich, z. B. bei einer Species *Coluber* = 31°,32 in Luft von 27°,45 und bei einer Species der braunen Schlange 32°,23 in Luft von 28°,34, bei einem andern kleineren Exemplare aber nur 29°,1 in Luft von 27°,98 C. Von den *Fischen* behauptet BRAUN[3], dafs sie stets genau die Temperatur des Wassers haben, worin sie leben, und eben dieses fand auch DUTROCHET, jedoch gesteht Letzterer zu, dafs v. HUMBOLDT und PROVENZAL, PREVOST und DUMAS, so wie BERTHOLD einen geringen Wärmeüberschufs bei ihnen beobachtet haben. Nach v. HUMBOLDT und PROVENZAL[4] beträgt der Ueberschufs ihrer Wärme über die des Wassers nicht mehr, als 1° bis 1°,5 C., und JOHN DAVY[5] giebt an, dafs er diesen geringen Unterschied constant bei allen von ihm untersuchten Exemplaren gefunden habe. Bei einigen, namentlich dem Haifische, mufs indefs der Unterschied gröfser seyn, denn nach PERRINS[6] betrug die Wärme

---

1 Die Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Bremen 1831. Th. I. S. 419.

2 Physiologie. Th. I. S. 178.

3 Nov. Comm. Soc. Petrop. T. XIII. p. 419.

4 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 598.

5 G. LXVI. 129.

6 G. XIX. 448.

des letzteren 27°,75 C., die des Wassers aber nur 24°, jedoch meint G. R. TREVIRANUS[1], dafs die von JOHN DAVY am Haifische wahrgenommene höhere Temperatur eine Folge schlechter Leitung gewesen sey; auch leitet dieser selbst sie von anderweitigen Bedingungen des zur Untersuchung dienenden Exemplars ab. Nach den Beobachtungen von KING[2] bei der Expedition des Capitain BACK betrug am Sklavensee die Wärme im Bauche einer Forelle 2°,22 C. in einer Umgebung von - 0°,55 und in einem andern Falle 1°,12 C. bei 0° der Umgebung; ein Weifsfisch zeigte aber 6°,12 bei 2°,78 äufserer Wärme. Auf jeden Fall ist die Eigenwärme der Fische sehr gering, weswegen CUVIER[3] sie geradezu kaltblütig nennt, weil die geringe Menge Sauerstoffgas, die sie aus dem Wasser aufnehmen, ihre Wärme nicht bedeutend steigern kann. BECQUEREL und BRESCHET[4] fanden bei ihren sorgfältigen Versuchen die Wärme eines Karpfen (*cyprinus carpio*) nur 13°,5 in Wasser von 13° C.; doch hat man Beispiele, dafs eingefrorene Fische nach vorsichtigem Aufthauen lebendig erhalten wurden, selbst aber sah einigemal zufällig Fische, in wenigem, ihrer Form anpassenden, Wasser, welches völlig in Eis eingeschlossen war, eine Erscheinung, die man nur von ihrer eigenthümlichen Wärmeproduction oder minder wahrscheinlich vom schlechten Leitungsvermögen ableiten kann[5].

Von dieser allgemeinen Regel weicht indefs der *Wallfisch* bedeutend ab, gehört aber auch zu den höheren Thierclassen, da er durch Lungen athmet. Ungeachtet seines Aufenthalts zwischen dem Eise in den Polarmeeren ist seine Wärme ausnehmend grofs, denn SCORESBY[6] mafs bei einem eben getödteten gemeinen Wallfische (*balaena mysticetus*) 38°,77 C., aber die innere Wärme eines vor anderthalb Stunden getödteten Narwals (*monodon monoceros*) fand er 35°,2 C. Minder bewährt war die Beobachtung einer ungewöhnlichen Eigen-

1 Die Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Th. I. S. 117.
2 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 150.
3 Histoire naturelle des Poissons. T. I. p. 275.
4 Ann. des Sciences nat. T. III. 1835. Zool. p. 257.
5 Viele Beispiele nebst Angaben der Quellen findet man in TREVIRANUS Biologie. Th. V. S. 25 und RUDOLPHI Physiologie. Th. I. p. 174.
6 Account of the artic Regions. T. I. p. 477.

wärme, welche John Davy[1] bei einigen Species des Thunfisches wahrnahm, wobei immer merkwürdig ist, dafs schon Aristoteles[2] diesen Fischen eine aufsergewöhnliche Wärme beilegt. Auf einer Reise nach Ceylon zeigte ein in den dicken Muskel eines frisch gefangenen Thunfisches eingesenktes Thermometer 37°,23 C., obgleich die Oberfläche des Meeres da wo er gefangen war, nur 26°,9 C. warm war. Bei späteren Untersuchungen anderer Species dieser Gattung fand John Davy die Sache bestätigt und erfuhr von den Fischern, dafs ihnen dieses nicht unbekannt sey, indem sie vielmehr die Eigenwärme dieser Fische der bei warmblütigen Thieren gleich setzten. Die grofse Eigenwärme des Narwals, so wie der Wallfische und Delphine, die durch Lungen athmen, hat gerade nichts Auffallendes, vielmehr ist eine starke Wärmeproduction wegen des kalten Mediums, worin sie leben, ihnen nothwendig die der Thunfische aber sucht John Davy aus ihrem sehr ausgebildeten Nervensystem zu erklären, worüber zu entscheiden aufser meinem Bereiche liegt.

189) Den *Insecten* sprechen manche Physiologen alle Wärmeproduction ab, und glauben, dafs die wenigen etwa beobachteten Grade durch Reibung und mechanische Bewegung, z. B der Flügel, erzeugt würden. Anhänger dieser Meinung sind unter andern Braun[3], Maraldi[4], Rengger[5] und Treviranus[6]; inzwischen haben Reaumur's[7] gehaltreiche Beobachtungen unlängst dargethan, dafs die von diesen Thieren erzeugte Wärme im Verhältnifs zur Gröfse ihres Körpers und der hiernach um so viel stärkeren Ableitung keineswegs unbedeutend ist, was auch aus der nicht geringen Menge des durch sie in Gasform verzehrten Sauerstoffs sich leicht erklären läfst. Am auffallendsten gewahrt man eine starke Wärmeproduction bei

1 Edinburgh New philos. Journ. N. XXXVII. p. 192. XXXVIII p. 325.

2 Hist. anim. Lib. VIII. cap. 19.

3 Nov. Comm. Soc. Petrop. T. XIII. p. 419.

4 Mém. de l'Acad. de Par. 1712. p. 423.

5 Physiologische Untersuchungen über d. thierische Haushaltung d. Insecten. Tüb. 1817. S. 40.

6 Biologie. Th. V. S. 30. Erscheinungen und Ges. Th. I. S. 421.

7 Hist. nat. des Insectes. éd. 8. T. V. P. II. p. 360.

den Bienen[1], weil diese in grofsen Mengen vereint sind und daher die sonst statt findende starke Ableitung ihre Wirkung nicht äufsern kann. Mit Recht mufs man daher den Insecten das Vermögen der Wärmeerzeugung durch den Lebensprocefs beilegen[2], auch geben RENGGER und MARALDI dieses zu, obgleich sie, wie auch REAUMUR, die Ursache minder richtig in der Bewegung finden, ja nach den Versuchen von TREVIRANUS soll dieselbe, obgleich aus dieser Ursache entspringend oder mindestens dadurch bedingt, selbst an einzelnen Individuen wahrnehmbar seyn. Dafs übrigens die Ursache nicht in der Bewegung, sondern in der Respiration zu suchen sey, geht aus zahlreichen Versuchen hervor. J. HUNTER[3] mafs bei einer äufseren Temperatur von 12°,25 C. in einem Bienenkorbe 27°,75 und bei 1°,6 äufserer 22°,75, nach HAUSMANN[4] aber überstieg die Wärme der Heuschrecke die äufsere um 3°,75. Nach den schätzbaren Versuchen von M. G. NEWPORT[5] produciren alle Insecten Wärme und die Menge derselben ist durch ihre Nahrung bedingt, indem sie so viel tiefer herabgeht, je mehr das Thier hungert. Im Ganzen ist also das Verhalten der Insecten in dieser Beziehung genau so, wie bei warmblütigen Thieren, jedoch geht die erzeugte Wärme um so viel schneller verloren, weil kein Blutumlauf statt findet, da ihr Blut kein eigentliches arterielles und venöses ist. Man wird dieser Ansicht um so leichter beitreten, wenn man berücksichtigt, dafs beide Thierclassen nach der oben mitgetheilten allgemeinen Bemerkung Sauerstoffgas verzehren und Kohlensäure aushauchen. Ich selbst habe dieses durch Versuche mit gemeinen Stuben-

---

1 C. W. JUCH Ideen zu einer Zoochemie. Erf. 1800. Th. I. S. 4. HUBER in Phil. Trans. T. LXXXII, p. 136. Wenn in der Lüneburger Heide die Bienenkörbe, besserer Nahrung halber, verfahren werden, so geschieht dieses, hauptsächlich wegen Vermeidung zu großer Wärme, bei Nacht. Dennoch ist es nöthig, am andern Morgen die Körbe zeitig zu öffnen, damit die Bienen nicht verbrennen, wie man sagt; denn wirklich steigt aus dem Drahtgitter im Boden der Körbe eine Hitze auf, die man kaum mit der Hand zu ertragen vermag.

2 RUDOLPHI Physiologie. Th. I. S. 179.

3 Phil. Trans. 1792. p. 671.

4 De animal. exsang. respiratione. p. 68.

5 L'Institut. 5me Ann. N. 211. p. 356. Philos. Trans. 1836. P. II. 529. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXVI. p. 189.

fliegen oftmals versucht, und man hat hierin ein bequemes Mit tel, nach Wegnahme der Kohlensäure reines Stickgas zu erhal ten; auch stimmen zahlreiche andere Beobachter hiermit überei namentlich Reaumur, Bonnet, Scheele, Huber, Edward Audoin und Andere, wie Newport versichert, welcher no weiter durch zahlreiche Versuche dargethan hat, dafs die Men des verzehrten Sauerstoffgases nach dem Lebensalter, der Con stitution und den äufsern Bedingungen verschieden ist. Aufse dem hat derselbe die Functionen der Respirationswerkzeuge b den Insecten nachgewiesen und die in gegebenen Zeiten erha tenen Quantitäten der durch verschiedene Insecten erzeugt Kohlensäure tabellarisch zusammengestellt. Mit dieser Ansic stimmen endlich Nobili und Melloni,[1] so wie auch Dutrochet überein. Nobili und Melloni[2] bedienten sich bei ihren Ve suchen der thermoelektrischen Säule, deren beiden Enden ge genüber sie kleine metallene Hohlspiegel stellten, in dem einem die zu prüfenden Insecten durch ein sehr feines Drah netz frei beweglich festgehalten wurden. Alle Insecten zeigte durch Ablenkung der Magnetnadel freie Entwickelung der Wär me, einige eine nicht unbedeutende; auch ergab sich bei de *Lepidopteren*, dafs die Raupen stets eine höhere Temperatu besitzen, als die Puppen und Schmetterlinge. Sofern aber da Respirationssystem der Raupen weit entwickelter ist, als da der Puppen und Schmetterlinge, so läfst sich hieraus folgen dafs die Insecten in der ersten Periode ihres Lebens, wo si viel fressen und rasch wachsen, eine gröfsere Menge Sauer stoff in Kohlensäure verwandeln, als in ihren späteren Lebens perioden, und dafs also die Wärme auch dieser Thierarten auf ge wisse Weise mit der Menge des verzehrten Sauerstoffgases zunimm Hierdurch zeigen sie eine unverkennbare Aehnlichkeit mit de warmblütigen Thieren; endlich aber wird aus John Davy's Versu chen sogar wahrscheinlich, dafs sie eine gewisse Normaltem peratur in höherer äufserer Wärme beibehalten. Er fan nämlich

1 L'Institut. 8me Ann. N. 324. p. 93.

2 Aus Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198 in Poggendorff Ann. XXVII. 446.

Species	Temperatur Thier	Luft	Species	Temperatur Thier	Luft
Scarab. pilul.	25°,00	24°,45	Apis ichneum . . .	24°,45	23°,89
Blatta orient.	23,89	28,33	Scorpio afer	25,25	26,11
		23,34	Julus	25,75	26,67
Gryllus haemat.	22,43	16,66	Glühwurm	23,34	22,78

190) β) Dafs die höheren, durch Lungen athmenden Thierclassen ein Wärmeproductionsvermögen besitzen, unterliegt keinem Zweifel, denn ihre Eigenwärme ist mit seltenen kurzdauerndern Ausnahmen gröfser, als die ihrer Umgebung; die genaue Bestimmung ihrer Gröfse aber und der Bedingungen, denen sie unterworfen ist, haben eine zahllose Menge Untersuchungen veranlafst. Hiernach ist die Wärme bei den Vögeln am gröfsten, denn sie beträgt nach Braun[1] zwischen 37°,5 und 43°,75 C., nach den zahlreichen und genauen Versuchen von Pallas[2] aber ist ihr Minimum 39°,25 und ihr Maximum 43°,8 C. Einige nähere Bestimmungen hierüber hat Dumas[3] angegeben, woraus sich zugleich ergiebt, dafs diese höhere Wärme mit der Zahl der Pulsschläge in der Minute nemlich, nicht aber mit der Frequenz des Athmens correspondirt. Hiernach ist

Gattung	Temperatur	Pulsschlag	Athmung
Taube	40°,0	136	34
Huhn	41,5	140	30
Ente	42,5	110	21
Fischreiher	41,0	200	20

Auch John Davy[4] hat bei verschiedenen Vögeln die Eigenwärme gemessen, namentlich auch bei solchen, die unter niederen Breiten leben. Zur leichteren Uebersicht stelle ich neben die untersuchten Species zugleich die Aufenthaltsorte, nebst der Temperatur der Luft, und die der Vögel neben einander.

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
2 S. Rudolphi Physiologie. Th. I. S. 181.
3 Ann. de Chimie. T. XXII. p. 50.
4 A. a. O.

Species	Aufenthalt	Temperatur	
		Luft	Thie
Falke[1]	Colombo . . .	25°,25	37°,2
Todteneule	London . . .	15,56	40,0
Papagei	Ceylon	24,44	41,1
Dohle	Ceylon	29,44	42,0
Gemeine Drossel	London . . .	15,55	42,7
Gemeiner Sperling[2]	Ceylon	26,67	42,2
Gemeine Taube	Ceylon . . .	25,56	43,0
	London . . .	15,56	42,2
Indisches Huhn	Ceylon	25,56	42,2
Gemeines Huhn	Edinburgh .	4,44	42,5
	Ceylon . . .	25,56	43,8
Perlhuhn	Ceylon	25,56	43,3
Welsches Huhn	Ceylon	25,56	42,7
Procellar. aequinoct.	2° 3′ N. B. .	26,11	40,7
Procell. capensis	34° 1′ S. B. .	15,00	40,7
Gemeine Gans	Ceylon	25,56	41,6
Gemeine Ente	Ceylon	25,56	43,3

Die Vögel können aufserdem in sehr grofser Kälte ausdauer und ihre Eigenwärme scheint darin nicht merklich herabzuge hen, denn King[3] beobachtete am Sklavensee beim Waldreb huhn, sowohl Männchen als auch Weibchen, übereinstimmen 43°,33 C. in einer Umgebung von — 8°,33 bis — 15°; bei weifsen Rebhuhn gleichfalls 43°,33 in einer Kälte von — 35°,5 C., bei einem Schneehuhn aber nur 41°,2 in einer Käl von — 40°,55 C., bei einem braunen Taucher 41°,4 und bei Eistaucher 35°,0 in einer Atmosphäre von 10°, bei der Blau meise 37°,78 in — 8°,89, beim Blutfinken 37°,22 in — 21°,67 endlich bei einem Sandläufer (Schnepfe) 41°,66 in einer Umgebung von 15°,55. Hieraus geht zugleich hervor, dafs di Vögel grofse Kältegrade ertragen können, indefs findet man dafs Sperlinge und Raben bei strengstem Froste ungewöhnlich kalter Winter, vermuthlich aber hauptsächlich wegen Mangel an Nahrung aus der Luft herabfallen; auch erzählt J. G. Gmelin[4], dafs Elstern und Sperlinge bei einer Kälte unter dem

1 Dieser Vogel war einige Stunden vorher geschossen.

2 Beim Spatzen fand Edwards im Februar 40°,66, im April 41°,94 und im Juli 43°,75 C. S. De l'Influence des agens phys. sur la Vie. Sect. III.

3 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 150.

4 Flora Sibirica. Petrop. 1747. 4. Praef. p. LI.

Gefrierpuncte des Quecksilbers zu Jeniseisk todt niederfielen, aber sich wieder erholten, wenn sie zeitig genug in die Wärme gebracht wurden.

191) Ueber die Eigenwärme der Säugethiere giebt es eine unglaubliche Menge von Beobachtungen, von denen einige der wichtigsten zu erwähnen genügen wird. Unter die älteren gehören die von MARTINE[1], BRAUN[2], HUNTER[3] und vorzüglich PALLAS[4]. Hiernach nähern sich die kleinern Thiere mehr den Vögeln, indefs weicht ihre Temperatur nicht sehr von derjenigen ab, welche bei Menschen constant gefunden wird, die gröfsern Thiere dagegen haben die letztere mit unbedeutenden Abweichungen. DUMAS[5] hat, wie bei den Vögeln, so auch bei den Säugethieren die Eigenwärme derselben mit den Mengen der Pulsschläge und der Athmungen in einer Minute zusammengestellt.

Gattung	Temp.	Pulsschläge	Athmung
Affe	35°,5	90	30
Schwein	38,0	140	36
Hund	37,4	90	28
Katze	38,5	100	24
Ziege	39,2	84	24
Kaninchen . . .	38,0	120	36
Pferd	36,8	56	16
Schaf	38,0	—	—

So wie bei den Vögeln, verdienen auch die durch JOHN DAVY bei den Säugethieren angestellten Messungen vorzugsweise Beachtung, und ich theile sie daher auf gleiche Weise, wie jene, hier mit.

1 Dissertations sur la chaleur. Par. 1751. 8.
2 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
3 Philos. Trans. 1792. p. 671.
4 RUDOLPHI Physiol. Th. I. S. 183.
5 Ann. de Chim. T. XXII. p. 50.

Species	Aufenthalt	Temperatur der Luft	Temperatur des Thiers
Simia Aygula .	Colombo . . .	30°,00	40°,00
Manis pentedactyla[1]	Colombo . . .	26,66	32,22
Fledermaus . .	Colombo . . .	27,78	38,00
Vesp. Vampirus .	Colombo . . .	21,11	37,78
Eichhörnchen . .	Colombo . . .	27,22	38,89
gem. Ratte . . .	Colombo . . .	26,67	38,89
Hase	Colombo . . .	26,67	37,78
Ichneumon . .	Colombo . . .	27,22	39,44
Frettel	Colombo . . .	26,67	37,78
Hofhund . . .	Ceylon	....	39,44
Schakal . . .	Colombo . . .	28,89	38,33
gem. Katze . . .	London . . .	15,56	38,33
Parther	Colombo . . .	27,22	38,89
Pferd	Ceylon	27,78	37,45
Schaaf	Schottland . . .	....	38,33 40,00
Ziege	Colombo . . .	25,56	39,50
Ochse	Edinburgh . .	....	37,78
	Ceylon . . .	26,67	38,89
Elenthier . . .	Ceylon	25,56	39,44
wildes Schwein .	Ceylon	23,88	40,55
Elephant . . .	Colombo . . .	26,67	37,45
Meerschwein . . .	8° 23' nördl. Br.	22,22	37,77

Aus verschiedenen Messungen von John Davy geht hervo oder wird mindestens sehr wahrscheinlich, dafs die Wärme de genannten Thiere durch das heifsere Klima um 1 bis 2 Grad und wohl noch mehr gesteigert wird. Dieses ist allerding merkwürdig, denn Arago[2] bemerkt, dafs nach den Resultate der Messungen während der Expedition des Capitain Back di Temperatur warmblütiger Thiere durch eine Kälte von 0° bi — 32° nicht abnimmt, und noch augenfälliger ergiebt sich dieses aus denen, welche während Parry's zweiter Reise angestellt wurden[3]. Hiernach waren

1 Das Thier war merklich krank.

2 L'Institut 1836. N. 164. p. 205.

3 Ann. Chim. et Phys. T. XXVIII. p. 223.

Thiere	Temperaturen Luft	Temperaturen Thiere
arktischer Fuchs .	— 25°,6	41°,5
derselbe	— 23,3	36,6
weifser Hase . . .	— 29,4	38,3
Fuchs	— 35,6	41,1
derselbe	— 26,2	37,8
Wolf	— 32,8	40,5

Ebenso nach King's[1] Messungen bei der Expedition des Capitain Back

Thiere	Temperaturen Luft	Temperaturen Thiere
männl. Eichhörnchen	— 40°,56	38°,89
weibl. Eichhörnchen	— 8,83	38,89
Moschusochse	+ 5°,00	40,00
Lemming	+ 3,89	33,89

192) Bei der Untersuchung der thierischen Wärme darf zugleich diejenige nicht übersehn werden, welche bei einigen Thierclassen im Winterschlafe statt findet. Uebergehn wir dasjenige, was diesen höchst merkwürdigen Zustand im Allgemeinen betrifft, wie es nach den frühern Untersuchungen von Herold, Raffin, Spallanzani, Mangili, Saissy, Prunelle und Anderen durch Flourens[2] zusammengestellt worden ist, so unterscheidet Letzterer den Zustand der vollkommenen und unvollkommenen Lethargie; im ersteren findet weder Athmung noch Blutumlauf statt, im letzteren wird das Athmen durch Zwischenräume von Minuten und selbst Stunden unterbrochen, die Temperatur geht aber bis 5°, 4° und selbst 3° C. herab. Sehr genaue Untersuchungen über die eigenthümliche Beschaffenheit des Winterschlafes nach lange fortgesetzten Beobachtungen und vielfach modificirten Versuchen hat Marschall Hall[3] bekannt gemacht. Dieser Zustand ist hiernach ein eigentlicher Schlaf, jedoch vom gewöhnlichen dem Grade nach verschieden. Durch Kälte fallen die Thiere in gewöhnlichen Schlaf, und dieser geht allmälig in den eigentlichen Winterschlaf über, in

---

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XLI. p. 151.
2 Ebendas. N. XIV. p. 219.
3 Philosoph. Transact. 1832. p. 335 ff.

welchem das Blut wegen mangelnder Respiration seinen art riellen Charakter verliert. Die Irritabilität ist vermehrt, die R spiration geschwächt oder ganz fehlend, die Sensibilität c Nerven aber und die Muskelbeweglichkeit sind unverminde wird das Thier gereizt, so erfolgt Respiration und die Wän steigt; mit aufhörendem Reize tritt der frühere Zustand wiec ein. Der Winterschlaf ist vom Torpor verschieden, in we chen das Thier durch heftige Kälte und andere dasselbe sta afficirende Leiden verfällt. Im Ganzen ist die Lebensthätigk so gering, dafs das Thier fast genau die Temperatur der Un gebung annimmt. Letztere Thatsachen ermittelte MARSCHAI HALL dadurch, dafs er ein feines Thermometer unter de Bauche einer in den Winterschlaf verfallenen, durch schlech Wärmeleitung von der äufsern Luft abgesonderten Flederma liegen liefs und die Scale von aufsen beobachtete. Vom 6t bis 31sten Januar erhielt er folgende Temperaturen.

Thier	Luft	Thier	Luft	Thier	Luft	Thier	Luft
4°,65	4°,44	3°,00	2°,78	2°,22	2°,22	5°,00	5°,00
6,11	6,11	2,78	2,78	3,89	3,89	2,78	2,78
5,25	5,50	4,44	4,44	4,44	4,44	1,36	1,36
7,78	8,33	2,78	2,78	6,66	6,66	2,78	2,78
7,78	7,78	1,67	1,67	5,80	5,80	5,56	5,56
8,33	8,33	2,78	2,78	4,68	4,68	6,11	6,11
7,22	7,22	5,56	5,56	6,36	6,36	5,56	5,56
7,22	7,22	4,44	4,44	5,56	5,56	4,13	4,13

Es mufs hierbei noch bemerkt werden, dafs nach wiederholt Versuchen die innere Wärme des Thieres im Mittel etwa 1°, höher ist, als die auf die angegebene Weise gefundene. D übrigens die Winterschläfer nicht respiriren, ist nicht bl durch ihren Aufenthalt in mephitischen Gasarten, sondern au durch Untertauchen unter Wasser genugsam erwiesen[1].

193) Die Eigenwärme der Menschen ist vielfach untersuc

---

1 Interessante Erfahrungen über die verschiedenen Mittel, w durch nicht blofs die Winterschläfer, sondern die Thiere überhau im Winter die äufsere Kälte abzuhalten suchen, von J. RENNIE find man in Journ. of the Roy. Inst. N. III. p. 496. Ueber den Winte schlaf der Insecten, s. SUCKOW in Heusinger's Zeitschrift für die o ganische Physik. Th. I. S. 597.

worden, allein die verschiedenen Bestimmungen hierüber weichen nicht unbedeutend von einander ab, was eine Folge unrichtiger Thermometer oder nicht hinlänglich genauer Messungen seyn mufs. Dafs dabei allezeit nur von der Wärme der innern Theile, namentlich des Blutes, die Rede seyn könne, versteht sich wohl von selbst, denn die der äufsern Theile ist von unbestimmbaren Bedingungen abhängig. Einige der wichtigsten Bestimmungen sind folgende. Nach BRISSON[1] ist die menschliche Wärme 37°,37 C., nach MARTINE[2] 37°,22, welche Gröfse seitdem sehr allgemein angenommen wurde. BRAUN[3] fand im Mittel aus mehrern Beobachtungen eines im Munde gehaltenen Thermometers 36°,25 bis 36°,75, HUNTER[4] dagegen unter seiner eigenen Zunge 36°,11, im Innern des Mastdarms aber 36°,78. Wiederholte Beobachtungen an einem feinen Thermometer, welche aber mindestens 10 Minuten unter der Zunge gehalten werden mufs, um die höchste Temperatur anzunehmen, brachten WAHLENBERG[5] zu der Ueberzeugung, dafs die menschliche Wärme vermöge ihrer Unveränderlichkeit sogar zum Graduiren der Thermometer gebraucht werden könne und stets 36°,87 betrage. Mit dieser Bestimmung kommen alle weitere genauere so nahe überein, dafs der Unterschied wohl s innerhalb der Fehlergrenze liegend zu betrachten ist, denn unter andern beobachtete RUDOLPHI[6] an sich selbst sowohl in erlin als auch in Neapel und zugleich in verschiedenen Jahreszeiten 29° bis 29°,5 R., also 36°,25 bis 36°,86 C.

194) Im weitesten Umfange hat JOHN DAVY[7] die Wärme s Menschen zu bestimmen sich bemüht, wozu ihm seine Reise h Ceylon eine vorzüglich günstige Gelegenheit darbot. Nach er allgemeinen Bestimmung setzt er die Eigenwärme der nschen in Europa auf 36°,66 C., fand aber zugleich, dafs unter der Linie um 1° bis 1°,5 zunahm, und unter 12° l. Br., 37°,7 C. betrug. Nachdem dieselben Menschen sich i Wochen zwischen 30° und 35° südl. Br. aufgehalten hat-

1 Dict. rais. de Phys. art. Chaleur anim.
2 Dissert. sur la Chaleur. p. 174.
3 Nov. Comm. Petrop. T. XIII. p. 419.
4 Philos. Trans. T. LXVIII. p. 7.
5 G. XLI. 117.
6 Physiologie Th. I. S. 185.
7 Ann. Chim. et Phys. T. XXII. p. 435.

ten, war ihre Wärme bei 15° äufserer Temperatur nicht hö als 36°,42. Zu Colombo auf Ceylon fand er die Wärme sechs Singalesen = 38°,23 in einer äufsern Temperatur 25°,11 und später die der Mestizen ebendaselbst = 38°, der Weifsen = 38°,54. Später hat John Davy[1] seine sämr lichen Beobachtungen zusammengestellt, die sich zuerst auf veränderliche Wärme der nämlichen Menschen unter versch denen Bedingungen, und zweitens auf die der verschieder Menschenracen beziehn. Rücksichtlich des ersteren mafs er Wärme bei verschiedenen Individuen der Schiffsmannschaft seiner Reise nach Ceylon vermittelst eines unter die Zunge g haltenen Thermometers. Die Wärme, die er in Europa Mittel zu 36°,67 C. angiebt, fand er bei 7 gesunden Indiv duen unter 9° 42′ nördl. Br., bei 25°,56 äufserer Temperat zwischen 36°,67 und 37°,45; unter 0° 12′ nördl. Br. bei 26°, äufserer Temperatur zwischen 36°,87 und 37°,78; unter 2 44′ südl. Br. bei 26°,67 äufserer Temperatur zwischen 37°, und 38°,33; nach einem Aufenthalte von drei Wochen zw schen 30° und 35° südl. Br. bei einer äufseren Temperatur v 15°,56 unter 35° 22′ südl. Br. zwischen 36°,67 und 37°,0 Um den Einflufs eines schnellen Wechsels der äufseren Temp ratur zu ermitteln, mafs er bei den nämlichen Individuen d Wärme zuerst in Kandy, der Hauptstadt von Ceylon, u dann im Hafen zu Trincomalie, wohin sie reiseten. Jenes li unter 7° 17′, dieses unter 8° 34′ nördl. Br.; dort war weg der Erhebung von 1500 Fufs über die Meeresfläche die mit lere Temperatur 23° C., hier 28°, und so fand er dort zwisch 36°,67 und 37°,22, hier zwischen 37°,22 und 37°,66. Na 16 Tagen müssigen Lebens zu Trincomalie fand er zwisch 36°,94 und 38°,89; nachdem sie aber zwei Tage wieder Kandy gewesen waren, fand er zwischen 36°,66 und 36°,9 Da die Temperatur zu Kandy stark wechselte, so untersuch er endlich den Einflufs dieses Wechsels bei einem Individuu und fand

1 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVI. p. 300.

	Temperatur		
Stunde	der Luft	des Menschen	Empfindung
6h Morg.	15°,83	36°,67 ...	Kühle
9 –	18,88	36,39 ...	Kälte
1 Mitt.	25,56	36,95 ...	Kühle
4 –	26,11	36,95 ...	Wärme
6 –	21,66	37,22 ...	Wärme
11 –	20,56	36,67 ...	Kühle

Um zweitens die Eigenwärme der verschiedenen Menschenracen auszumitteln, stellte er auf dem Cap, auf Isle de France und auf Ceylon die erforderlichen Messungen an. Bei den Hottentotten fand er zwischen 35°,83 und 37°,50, wobei die beobachtete sehr geringe Wärme wohl Folge des zu kurze Zeit dauernden Versuchs seyn möchte, doch waren die Individuen, welche die geringere Wärme zeigten, sehr mager und schwächlich, drei robuste Engländer dagegen zeigten gleichzeitig zwischen 37°,22 und 37°,5. Zu Isle de France bei 23°,33 äufsere Wärme zeigten drei robuste Neger zwischen 37°,22 und 37°,5, zwei Engländer daselbst zeigten 36°,94. Bei sechs Singalesen auf Ceylon war die Wärme mit geringen Unterschieden zwischen 37°,78 und 38°,61; bei vier Albinos zwischen 38°,33 und 38°,61; bei Kindern von singalesischen Müttern und Engländern war die Wärme zwischen 37°,78 und 38°,89, bei an...n, europäischer Abkunft, zwischen 38°,33 und 38°,89. Zu ...gan auf Ceylon zeigte ein fast hundert Jahr alter Ein...ner bei 22°,22 äufserer Temperatur nicht mehr als 35°, ...gens aber schwankte die Eigenwärme der Bewohner jener ...l zwischen 36°,67 und 37°,22. Auch drei Vaidas, gänzlich ...e und nackte, welche zufällig aus den Wäldern am See ...inne nach Ceylon gekommen waren, zeigten zwischen ...67 und 36°,95. Genau ebenso zeigten vier Malayen bei ...22 äufserer Temperatur zwischen 36°,94 und 37°,22; sechs ...oys bei 26°,67 äufserer Temperatur zwischen 36°,67 und ...78 und die englischen Soldaten bei ungefähr 24° äufserer ...peratur zwischen 36°,67 und 38°,33.

...195) Die hier mitgetheilten Resultate geben eine sehr ...ändige Uebersicht, und sie sind um so schätzbarer, weil ...durch ein Thermometer unter der Zunge erhalten wurden. ...aber die Einflüsse verschiedener äufserer Bedingungen noch

näher kennen zu lernen, wollen wir aufserdem einige and Erfahrungen mittheilen. Nach Chisholm's[1] Beobachtun auf Demerary unter 6° nördl. Br. war bei zwei eben aus Er land angekommenen Personen die Wärme unter den Achs 35°,6, der Puls 98; bei zwölf länger dort anwesenden Weif 35°,6, der Puls 70; bei zwölf kürzlich angekommenen Neg von der Goldküste 36°,4, der Puls 98; bei zwölf länger d anwesenden Negern 35°,8, der Puls 82; bei zwölf Creolen 36 der Puls 85. Ferner war bei

einem weifsen Kinde	von 6	Mon.	Temp. 37°,2	Puls	128
— —	— — 15	—	— 36,7	—	128
— —	— — 30	—	— 36,7	—	132
— schwarzen	— — 42	—	— 36,2	—	112
— Mulatten	— — 4,5	Jahr	— 36,2	—	112
— Muslee	— — 5	—	— 36,7	—	112
einer Negerin	— 80	—	— 36,7	—	94

Die mittlere Wärme von 60 erwachsenen Individuen war 36 gerade wie in England. Auch Douville[2] hat auf seiner Re in Africa viele Beobachtungen angestellt, welche zwar ni absolut genaue Resultate geben konnten, da er die Thermo terkugel in der Hand halten liefs, doch aber wegen ihrer V gleichbarkeit unter sich viel Interesse gewähren. Es zeigten Morgen früh vor dem Ausgehn

ein Weifser	von 12	Jahren	36°,56
— Neger	— 12	—	39,35
— Weifser	— 20	—	36,25
— Neger	— 20	—	38,75
Mädchen weifs	— 14	—	37,50
— schwarz	— 14	—	40,31.

Auf einer Höhe von 2150 Metern fand er im Juli folgen Einflufs des Temperaments.

Ein Neger,	faul	und	dumm	von	18	Jahren	37°,36
— —	—	—	—	—	18	—	37,15
— —	thätig	—	klug	—	18	—	36,66
— —	—	—	—	—	18	—	36,35.

1 Biblioth. univ. T. XV. p. 159.
2 Journ. de Chim. médic. VIIIme Ann. Fevr. p. 97.

Bei Unthätigkeit im Schatten, aber auch durch Thätigkeit in der Hitze, scheint die Temperatur herabzugehn; denn er fand bei einem

Neger, faul und unthätig	in der Cabane	. .	37°,15
— — —	— in der Sonne	. . .	40,20
— thätig	in der Sonne	. . .	39,75.

Endlich glaubt er gefunden zu haben, dafs bei den Negern, die sich früh entwickeln und selten über 40 Jahre alt werden, die Wärme mit den Jahren merklich abnimmt. Er fand bei

einem Neger	von 15	Jahren	. . .	40°,30
einer Negerin	— 15	—	. . . .	40,90
einem Weifsen	— 20	—	. . . .	37,80
einem Neger	— 20	—	. . . .	39,05
einer Negerin	— 20	—	. . . .	39,45
einem Neger	— 25	—	. . . .	38,85
einer Negerin	— 25	—	. . . .	38,61
Neger von Loande	54	—	. . . .	37,91

196) Einen sehr schätzbaren Beitrag zur Bestimmung der enschlichen Wärme verdanken wir den Beobachtungen, wel- e Reynaud und de Blosseville auf der Corvette La Che- ette anstellten. Sie wurden an 12 Personen der Schiffsmann- aft 3 Stunden nach dem Essen gemacht, indem die Ther- meterkugel bei verschlossenen Lippen wenigstens 15 Min. er der Zunge blieb, die Thermometer aber waren vor und h der Expedition auf der Sternwarte genau geprüft, und mittlern Resultate, welche zwischen dem Maximum von ,2 und dem Minimum von 36°,7 liegen, zeigt folgende elle.

Zeit	Breite			Länge von Par.			Temperatur der Luft	Temperatur d. Menschen
Juli 1827	10°	4'	N.	23°	28'	W.	26°,00	37°,34
September 1827	0	10	S.	65	23	O.	30,00	37,72
Mai 1828	7	1	S.	102	41	O.	30,80	37,51
October 1828	0	30	N.	22	36	W.	26,00	37,51
August 1827	36	10	S.	26	0	O.	17,03	37,01
October 1828	32	23	S.	12	26	O.	17,03	37,15
December 1828	46	0	N.	12	0	W.	12,02	37,17

Nach im Ganzen 77 Beobachtungen war die mittlere Wärm von 8 Individuen bei äufserer Temperatur zwischen 26° b 30°,8 C. = 37°,58 und von den nämlichen bei einer äufse Temperatur zwischen 12° bis 17° C. = 37°,11. Die bei Ae thiopiern und Hindus gemachten Messungen sind für eine ge nügende Entscheidung nicht hinlänglich sicher, doch weicl die gefundene Wärme derselben von der der Europäer nicl merklich ab.

197) Nehmen wir alle diese Angaben, die sich leicht noc um viele vermehren liefsen, zusammen, so erscheint es a fraglich, ob wir die von WAHLENBERG angegebene Bestim mung von 36°,87 als allgemeine Normalgröfse annehmen kön nen, was jedoch für mittlere Breiten und ohne bedingende Ne benumstände im Mittel zulässig seyn dürfte. Eine andere sic darbietende Frage ist die, ob die menschliche Wärme in all Theilen des Körpers dieselbe sey, was schon insofern nic wohl der Fall seyn kann, als die Extremitäten durch Able tung einen Verlust erleiden müssen, wenn gleich ein Thermo meter unter der Zunge hinlänglich lange gehalten die Wärn des menschlichen Körpers genau genug angeben wird, obsch die des Blutes im Herzen und in den Lungen noch eine Klei nigkeit höher seyn dürfte. Wenn wir übrigens die Fehle grenze auch möglichst grofs annehmen, so können wir doc nicht wohl umhin zuzugestehn, dafs die menschliche Wärn unter mittlern und höhern Breiten zu 36°,87 bis 37° angenom men unter dem dauernden Einflusse höherer Temperatur etw um 1° bis höchstens 1°,5 steige, und bei den Negern 39° un selbst noch darüber erreiche. Sollten aber auch einzelne Indi viduen einen geringen Unterschied zeigen, so ist auf jeden Fa ihre Wärme eine constante Gröfse, die sich im Ganzen kaun einige Grade ändert. Hierüber sind gleichfalls eine Menge Be obachtungen vorhanden. Namentlich überzeugte sich FR. HO ME[1], welcher die Wärmegrade mit der Zahl der Pulsschläg verglich, dafs 41°,62 das Maximum der Wärme sey, welch bei Patienten in der heftigsten Fieberhitze eintritt[2]. Ebens

1 Medical Facts and Experiments. Lond. 1759. 8. p. 217 bi 228.

2 Ich wage nicht zu entscheiden, was von der Angabe GAVAR RET's zu halten sey, welcher durch Versuche gefunden zu haben be hauptet, dafs ein Thermometer in der Achselhöhle beim Wechselfieber

hoch steigt nach John Thomson[1] die Hitze des Blutes im Herzen, und dieses ist als das Maximum für den Zustand der Entzündung anzusehn. Wie weit die Temperatur in Ohnmachten herabgeht, finde ich nicht angegeben, denn die Beobachtung von James Currie[2], in dessen Hand das Thermometer während einer Ohnmacht nach einem Aderlafs bis 28°,33 herabging, ist zu wenig entscheidend, indem hierbei das Zurücktreten des Blutes in die innern Theile von entscheidendem Einflufs seyn konnte. Aeufsere Einflüsse der Wärme und Kälte scheinen minder geeignet, die natürliche Temperatur der Menschen zu erhöhn und zu vermindern, mehr aber dürfte dieses durch den innern Zustand gröfserer Aufregung oder ungewöhnlicher Atonie geschehn. So ergeben die Versuche von W. F. Edwards[3], dafs die warmblütigen Thiere in kalten Jahreszeiten mehr Wärme produciren und mehr Sauerstoffgas verzehren, als in kalten. Bei neugebornen Kindern fand er eine sehr geringe Wärmeproduction; sie wird aber nach einigen Tagen schon so stark, als bei Erwachsenen. Nach den Beobachtungen englischer Aerzte[4] steigt die Temperatur in hitzigen Krankheiten sehr selten höher, als 40°,56 C. und nie über 42° C.

198) Vorzügliche Beachtung verdienen die Untersuchungen von Becquerel und Breschet über die thierische Wärme, wobei sie sich des Thermomultiplicators bedienten[5]. Bei zwei Personen männlichen Geschlechts von 20 Jahren und einer ältern von 55 Jahren fanden sie die mittlere Temperatur der Muskeln 36°,77 C., übereinstimmend mit der bei verschiedenen Thieren. Diese Wärme ist etwas gröfser als die des Zellgewebes, und zwar beträgt der Unterschied, welcher aus der Abgabe an die äufsere Umgebung entspringt, etwa 1°,25 bis

---

...rate 1° bis 4° C. über und in der Fieberhitze 1° bis 2° weniger als ...t mittlere Temperatur zeigt. S. Froriep Not. Th. XI. N. 9.

1 Lectures on Inflammation. Edinb. 1813. 8. p. 46.

2 Ueber die Wirkungen des kalten und warmen Wassers. Leipz. ... 2 Voll. 8. Th. II. S. 349.

3 De l'influence des Agens physiques sur la Vie cet. Par. 1824. Sect. 3.

4 Edinburgh Med. and Surg. Journ. T. XXII. p. 563.

5 Annales des Sciences naturelles. T. III. 1835. p. 257. Vergl. ... Fermometer. Bd. IX. S. 1003.

höchstens 2° C., die mittlere Temperatur der Muskeln bei verschiedenen Hunden war 38°,3, erreichte aber nie 39°,48, wi Despretz gefunden zu haben behauptet. Beim gesunden Hund ist die Wärme der Brust, des Abdomen und des Gehirns di nämliche, als die der Muskeln; beim Einsenken der thermo-elektrischen Nadel in das Gehirn ging dieselbe jedoch sogleic um einige Grade herab, und der Hund starb nach weniger Minuten. Als merkwürdiges Resultat verdient beachtet zu werden, dafs die Temperatur der Muskeln sich durch verschieden Ursachen merklich ändert, namentlich durch die Contraction die Bewegung und die Zusammendrückung. Fällt die Contraction des Muskels mit den wiederholten Oscillationen de Nadel des Multiplicators zusammen und werden letztere da-durch vergröfsert, so nimmt man wahr, dafs die Temperatu hierdurch um 0°,5 C. wächst. Wird der Arm, in dessen Muskel die thermoskopische Nadel (aus Stahl und Kupfer) eingesenkt ist, bewegt, z. B. beim Sägen eines Bretes, so steigt di Temperatur durch den Andrang des Blutes um 1° C., wir dagegen die *arteria humeralis* stark mit dem Finger zusammengedrückt, während die thermoskopische Nadel im *bicep* oder noch besser im Muskel des Vorderarms eingesenkt ist, s zeigt sich sogleich eine Verminderung der Temperatur um einige Zehntel eines Grades. Mit einem etwas abgeänderten Apparate fanden dieselben Gelehrten nachher[1] im Fieberzustand die Wärme der Muskeln bis 3° C. erhöht, sehr entzündet Scrofelgeschwülste zeigten keine Erhöhung, Krebsschäden, s weit sie untersucht werden konnten, eine kaum merkliche Verringerung. Ebenso war die Wärme an der vom Schlage gerührten Seite nicht verschieden von der der andern. Bei einem eben verstorbenen Menschen war die Temperatur des *biceps brachialis* erst 1°,5 niedriger, nachdem die der Hanc schon um 5° C. gesunken war. Durch noch weiter fortgesetzte Versuche fanden dieselben[2], dafs bei Menschen un Hunden die Wärme der Muskeln im Rhonethale und auf den St. Bernhard keinen Unterschied zeigt. John Davy will gefunden haben, dafs im Mittel bei fünf Lämmern die Temperatur des arteriellen und venösen Blutes um 0°,74 C. ver-

1 L'Institut. 1835. N. 118. p. 359.
2 Ebendaselbst 1836. N. 190. p. 485.

schieden ist, bei vier Hunden fanden die erstgenannten Gelehrten aber einen Unterschied von 0°,84 und in andern Versuchen von 1°,01. Bei der Messung der absoluten Wärme der *vena jugularis* und der *arteria cruralis* fanden sie die Wärme jener 38°,0, dieser 38°,9, statt dafs JOHN DAVY einen Unterschied von 1°,1 gefunden hat. Eine kleine Entfernung vom Herzen giebt keinen merklichen Unterschied, wohl aber eine gröfsere. Bei einem welschen Hahn (*meleagris gallo-pavo*) fanden sie die Wärme des *pectoralis* 40°, des Zellgewebes unter der Haut 38°,5 und die linke Herzkammer übertraf die rechte um 0°,9 C.

199) Der Mensch kann vorzugsweise sehr hohe Grade der Hitze und Kälte ertragen, wenn er in beiden Fällen durch Bekleidung gegen zu grofse Zuleitung oder Ableitung der Wärme geschützt ist, weil sonst sein Organismus der Aufnahme der zugeführten oder der Entziehung seiner eigenen Wärme nicht genügend widersteht. Ist der Mensch ohne Schutz und Bekleidung in trockener Luft einer anhaltenden Kälte von 2° bis 6° über dem Gefrierpuncte oder im Wasser und feuchter Luft von 6° bis 10° ausgesetzt, so erliegt sein Lebensorganismus in 6 bis 12 Stunden[1]. Durch Kleider geschützt kann der Mensch in trockner Luft unglaublichen Graden der Kälte widerstehn. Die Grönländer, Lappen und Bewohner des östlichen Sibiriens ertragen oft im Freien eine Kälte unter dem Gefrierpuncte des Quecksilbers, welche selbst in Petersburg und Moskau nicht zu den grofsen Seltenheiten gehört. Am genauesten sind hierüber die Beobachtungen des Capitains PARRY bei seinem Winteraufenthalte auf der Insel Melville. Der hohen Kälte ungeachtet bewegte sich die Mannschaft täglich im Freien und fand es unangenehmer und mehr afficirend, sobald bei verminderter Kälte der Wind wehete, als wenn bei den höchsten Graden derselben die Luft ruhig und trocken war, in welchem Falle eine Temperatur von — 47°,5 C. leicht ertragen und also, die natürliche Wärme zu 37°,5 angenommen, eine

1 Ein Beispiel liefert der Tod aller Menschen auf einem gestrandeten Schiffe, von denen blofs eine Frau und ein Neger erhalten wurden, die den untersten Platz im Schiffe einnehmen mufsten und bis an den Hals im Wasser standen. S. Philos. Trans. T. LXXXII. p. 199.

Temperaturdifferenz von 85° C. erzeugt wurde[1]. Wenn ab jemand bei einer solchen Kälte dem geringsten Winde entge gen ging, so empfand er ein beifsendes Gefühl im ganzen Ge sichte, verbunden mit einem Schmerze mitten auf der Stir welcher bald sehr heftig wurde. War jemand dem Einflus dieser Kälte mehrere Stunden oder einen ganzen Tag ausge setzt, wie sich zuweilen bei Verirrungen auf der Jagd ereig nete, so erzeugte dieses den Zustand der Betäubung, welch völlig dem der Berauschung glich, indem die auf solche Wei Afficirten irre redeten, bis sie in wärmerer Umgebung wied hergestellt waren. PARRY versichert, er würde einige Indivi duen in dieser Lage für berauscht gehalten haben, wenn nicht vom Gegentheil bestimmt überzeugt gewesen wäre, un er glaube, dafs oft in ähnlichen Fällen Trunkenheit bestra worden sey, wo es nur Betäubung durch Kälte war.

200) Die warmblütigen Thiere können dauernd nicht i einer Temperatur leben, welche ihre natürliche übersteigt; klei nere Thiere sterben in einer solchen bald, mit gröfsern Thie ren lassen sich nicht wohl Versuche hierüber anstellen, Men schen aber ertragen kurze Zeit eine Wärme, welche selbst d Siedehitze des Wassers übersteigt. BOERHAVE[2] stellte den Sat auf, der Mensch und überhaupt die warmblütigen Thiere seye aufser Stande, auch nur während einer unbedeutend lange Zeit eine höhere Temperatur, als die der Blutwärme, zu er tragen. Als diesemnach FAHRENHEIT und PREVOST eine Hund und eine Katze in einer Trockenstube für Zucker eine Hitze von 63°,44 C. aussetzten und diese nach 28 Minute starben, wurde die Meinung angenommen, dafs es für warm blütige Thiere überhaupt unmöglich sey, einen Hitzegrad übe die Blutwärme auszuhalten. Allein im J. 1748 fand LINING[3] zu Charlestown die Hitze in der Sonne 51° C., ADANSON[4] am Senegal in den heifsen Nächten 32°,5, am Tage 40°, ir Sande an der Sonne 75°, in der Cajüte auf dem Strome wäh rend der Nacht 37°,5 bis 40°, am Tage 50° bis 56°, und doc hielten die Menschen dieses aus; GMELIN[5] fand die Temperatu

1 Parry's zweite Reise. D. Ueb. S. 245 u. 187.

2 Elem. chem. L. B. 1732. T. I. p. 275. T. II. p. 353.

3 S. Philos. Trans. 1748. p. 336.

4 Hist. natur. du Sénégal. Par. 1757. 4. p. 58 ff.

5 Flora Sibirica. T. I. praef. p. 81.

der russischen Dampfbäder 42°,25 bis 46°,25, und ELLIS[1] berichtete aus Savannah, dafs ein unter einem Schirme getragenes Thermometer 40°,44 zeigte, gegen seinen Körper gehalten aber auf 35°,88 herabging. Deswegen stellte ARN. DUNTZE[2] abermals Versuche mit kleinen Thieren an, welche aber in einer Wärme von 45° starben und auf etwas längere Zeit nicht mehr als 40° bis 42°,5 auszuhalten vermochten. Gegen die hieraus gezogenen Folgerungen entschied eine Beobachtung von TILLET[3] und DUHAMEL, welche im J. 1760 eine Bäckerstochter 12 Minuten in einem Backofen verweilen sahn, dessen Hitze mit einem Weingeistthermometer auf 128°,75 C. geschätzt wurde; der Erstere wiederholte daher die Versuche abermals mit kleinen Thieren, welche aber nur kurze Zeit in 62° bis 75° aushielten und etwas länger, wenn sie in Leinen eingenäht waren. Dennoch berichtete DOBSON[4], dafs er gesehn habe, wie mehrere Personen eine Hitze von 94° bis 106° C. etwa 10 bis 12 Min. ertrugen, wobei ihre Eigenwärme bis 48° stieg und ihr Puls 145 Schläge hatte.

201) Nach diesen einander widersprechenden Erfahrungen wählten endlich im J. 1775 FORDYCE, BANKS, BLAGDEN, DOBSON und SOLANDER das zweckmäfsigste Mittel zur Entscheidung dieser zunächst in Beziehung auf die Menschen aufgeworfenen Frage, indem sie sich selbst höhern Hitzegraden aussetzten[5]. FORDYCE liefs Zimmer durch Wasserdämpfe heizen, und in diesen hielt er aus 5 Min. in 32°,5; 10 Min. in 43°,75; 20 Min. in 48°,75; 15 Min. in 55° C. Hitze, ohne Vermehrung seiner Wärme, aber mit Beschleunigung seiner Pulsschläge bis zur Zahl von 145 in einer Minute. Einige von ihnen, durch die ersten Versuche dreist gemacht, ertrugen nachher 20 Min. 66°,25; 10 Min. 92°,5; SOLANDER allein 7 Min. 98°,75; BANKS 7 Min. 99°,35 und BLAGDEN 7 Min. 126°,68, ein Hund endlich ertrug 30 Min. 100 bis 112°. In den von

1 Philos. Trans. T. L. p. 755.

2 Dissert. compl. varia exper. calorem animalium spect. L. B. 1754. 4.

3 Mém. de l'Acad. 1764. p. 186.

4 Phil. Trans. 1775. T. LXV. P. II. p. 463.

5 Philos. Trans. T. LXV. p. 111 u. 484. Ueb. in: Versuche über d. Vermögen d. Pflanzen und Thiere, Wärme zu erzeugen und zu vernichten. Von L. v. Crell. Helmst. 1778. 8.

Fothergill angestellten Versuchen ertrug Einer eine Hitze vo[n] 94°,5, wobei sein Puls von 65 auf 120, seine Wärme a[uf] 37°,5 stieg; ein Anderer ertrug 20 Min. 99°, während sei[n] Puls von 75 auf 164 und die Blutwärme auf 42° stieg, ei[n] Dritter endlich, bei welchem der Versuch Ermattung und endlich Erbrechen verursachte, ertrug 10 Min. 106°,5, währen[d] sein Puls von 80 auf 145, die Blutwärme auf 42° stieg. Spätere Beobachtungen stimmten vollkommen darin überein, daſs der Mensch einige Zeit eine die Blutwärme weit übersteigend[e] Hitze zu ertragen vermag. Von natürlicher Hitze erzähle[n] dieses Ellis[1], Tuckey[2], Haafner[3] und Andere, Rudolphi[4] empfand keine Beschwerden in den Dampfstuben a[m] See Avignano bei Neapel bei 43°,75 Temperatur, noch auc[h] Fried. Gregorius[5] in den Berliner Dampfbädern bei 50° bis 62° C., wobei ihre Eigenwärme um 3° bis 4° vermehr[t] wurde.

Die neuesten, sehr werthvollen Versuche, wodurch ma[n] diese Aufgabe als erledigt betrachten kann, sind von De la Roche und Berger[6]. Die stärkste Hitze ertrugen sie in trocknen Stuben und mit einem leinenen Schirme gegen die Strahlen der Wärme geschützt. Hier hielten sie 8 Min. in eine[r] Temperatur von 87°,5 bis 90° aus, anfangs mit einer unangenehmen Empfindung, nach dem Ausbruche des Schweiſse[s] aber mit einem solchen Gefühle von Schwäche, daſs sie weggeh[en] muſsten. Nachher ertrugen sie nochmals kurze Zeit eine Hitz[e] von 109°,35 C., empfanden ein heftiges Brennen gegen da[s] Gesicht, geriethen in starken Schweiſs und konnten ihren Pul[s] wegen Schnelligkeit nicht zählen, waren aber dennoch nach 45 Minuten wieder in ihrem natürlichen Zustande. Durch Wasserdämpfe erzeugte Hitze fanden sie viel unerträglicher,

1 Philos. Trans. T. L. p. 755.

2 Relation d'une expédition pour reconnaître le Zaire. Trad. de l'Angl. Par. 1818. 8. T. I. p. 84.

3 Dessen Reise.

4 Physiologie Th. I. S. 193.

5 Dissert. de Sudationibus Rossicis. Berol. 1819. 4.

6 Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. Par. 1806. Journ. de Phys. T. LXIII. p. 207. LXXI. p. 289. Zum Theil in Nicholson's Journ. N. 72, daraus in Bibl. Brit. T. XXXVI. p. 142.

als die trockne, auch brachte jene eine viel gröfsere Verminderung ihres Gewichtes durch Ausdünstung hervor, als diese. Bei kleinen Thieren brachten 62°, ja sogar 56° schon den Tod hervor, wobei ihre eigene Wärme meistens die der Umgebung überstieg. Noch weiter kann man es durch Schutzmittel gegen die Zuleitung der Wärme bringen. Ein gewisser MARTINEZ blieb 14 Min. in einem Ofen, worin das Thermometer 170° C. zeigte. Sein Puls hatte vorher 76, nachher 136 Schläge. Hernach hielt er noch 7 Min. in 152° aus. Er bekleidete vorzüglich den Kopf mit vielem Wollenzeuche und stürzte sich nach dem Herauskommen in kaltes Wasser. Der Versuch erschöpft sehr und kann wöchentlich nur einmal angestellt werden[1].

202) Die Ausdünstung ist ein vorzügliches Hülfsmittel, so grofse Hitzegrade erträglich zu machen, indem die Eigenwärme dadurch gehindert wird, bedeutend über ihre normale Gröfse zu steigen. Aus dieser Ursache wird heifses Wasser weit weniger leicht ertragen, eine längst bekannte Wahrheit, die aber neuerdings dadurch wieder zur Sprache gebracht worden ist, dafs Marschall MARMONT zu Brussa einen Türken gesehn zu haben berichtet, welcher in einem Bade von 78° C. lange Zeit verweilte[2], und dafs er auch dann bei seiner Aussage beharrte, als ihm verschiedene andere Erfahrungen entgegengesetzt wurden. Nach NEWTON soll man Wasser von 50° Wärme an der Hand ertragen, wenn man sie ruhig hält, aber nur von 42°, wenn man sie bewegt. Die genannten englischen Aerzte, welche eine so grofse Hitze in trockner Luft ertrugen, konnten in Quecksilber nur 47°, in Wasser 50°,5, in Oel 54° und in Alkohol 54°,5 C. aushalten; Dr. CARRÈRE, ein rüstiger Mann, konnte in den warmen Bädern von Roussillon, deren Wärme 50° C. beträgt, nur drei Minuten verweilen, LEMONNIER ertrug zu Barèges Wasser von 38° ohne grofse Umbequemlichkeit, von 45° aber nur acht Minuten, weil er roth wurde und anschwoll und eine Betäubung ihn nöthigte, das

---

1 La Clinique. 1828. N. 82.

2 Das Mineralbad zu Kukurkli soll 84° C. und das zu Yeni-Kaplidja 64° C. haben. Uebrigens steht MARMONT's Beobachtung mit der Theorie und vielen Erfahrungen so sehr im Widerspruch, dafs sie vor der Hand noch als zweifelhaft gelten mufs.

Bad zu verlassen. Endlich setzt Dr. Berger 42° C. als das Maximum der Temperatur eines Bades aus reinem Wasser welches der Mensch zu ertragen vermag[1]. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt übrigens nicht fern; in der Luft, vorzüglich in der trocknen, wird stets etwas Wärme durch Verdunstung entzogen, im Wasser aber die erzeugte durch zugeführt vermehrt.

203) Die Quelle der thierischen Wärme liegt dem Anschein nach zunächst im Blute, denn sie wird durch dieses im ganzen Körper verbreitet; diejenigen Theile sind die wärmsten welche den stärksten Zuflufs des Blutes haben, die Extremitäten aber sind am kältesten, auch kälter und absterbend, wenn das Blut aus ihnen zurücktritt[2]. Woher aber das Blut stets aufs Neue diese Wärme nehme, darüber sind die Meinungen allezeit sehr verschieden gewesen. Hippokrates[3] und Galenus[4] legten dem Herzen eine natürliche, angeborene Wärme bei, welche sich von hier aus durch den ganzen Körper verbreite. Ihnen folgte Cartesius[5], und noch kürzlich meinte Caldani[6], die Wärme werde angeboren, erbe von der Mutter auf das Kind, und es sey daher blofs ihre Erhaltung zu erklären. Dafs solche Phantasieen keiner Widerlegung bedürfen, versteht sich von selbst. Die besser unterrichteten Physiologen der spätern Zeit theilten sich in zwei Schulen, die mechanische und die chemische, und beide suchten ihre Hypothesen zu vertheidigen.

204) Die *mechanische Schule* suchte die Ursache der thierischen Wärme in der Bewegung des Blutes und der Reibung desselben an den Wandungen der Gefäfse. Anhänger dersel-

---

1 Aus Compte rendu 1836. T. I. p. 211 in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 479.

2 S. John Davy in Phil. Trans. 1814. P. II. p. 598.

3 De Diaeta L. I. Tract. de corde.

4 De usu partium L. VII. c. 9. 21. De Temperamentis. L. II. c. 3.

5 De Homine. p. 5. De formatione foetus. p. 197.

6 Mem. di matem. e di fisica T. XIII. p. 296. Die ältern Anhänger einer angebornen Wärme, als Th. Bartholinus de flammula cordis 1667, Schelhammer de febres curandi methodo. 1693. S. II. 6. 93 und Apinus in Fascic. Diss. acad. 1718. p. 14, übergehe ich mit Stillschweigen.

ben waren unter andern Boerhave[1], Martine[2] und Van Swieten[3], welche ihre Meinung vorzüglich auf das Argument gründeten, dafs die Bewegung des Körpers die Wärme bedeutend vermehre und im Winter einziges Mittel zur Erhaltung derselben sey; sie werde ferner durch vermehrten Pulsschlag gröfser, sey daher im hohen Alter geringer, im mittleren wegen gröfserer Festigkeit der Gefäfse am gröfsten, und bei den warmblütigen Thieren, ungeachtet der ungleich weiten Gefäfse, nahe gleich, weil sie im geraden Verhältnifs zur Geschwindigkeit der Bewegung und im umgekehrten der Weite der Gefäfse stehe.

Gegen diese Hypothese wurden verschiedene Einwendungen gemacht, indem man namentlich zeigte, dafs alle Arten Flüssigkeiten bei noch schnellerer Bewegung und ungleich stärkerer Reibung gar nicht erwärmt würden. Aufserdem ist die Wärme der Zahl der Pulsschläge keineswegs proportional, denn diese steigen leicht auf das Doppelte, ohne mefsbare Vermehrung jener, und praktische Aerzte[4] wollten bei Fiebern sogar Verminderung der Wärme bei Vermehrung der Pulsschläge gefunden haben. Hunter[5] findet einen gewichtigen Gegenbeweis in dem Umstande, dafs auch solche Thiere der Kälte widerstehn, in denen kein Kreislauf des Blutes statt findet. Dennoch suchte Robert Douglas[6] die Hypothese zu vertheidigen, indem er annahm, die Reibung finde hauptsächlich zwischen den Blutkügelchen statt und gäbe im Sommer geringere Wärme wegen der Erweiterung der Gefäfse durch äufsere höhere Temperatur. Brisson[7] zeigt hiergegen sehr gründlich, dafs die angenommene Zusammenziehung der Gefäfse im Winter durch Kälte und dadurch vermehrte Reibung keinen Sinn habe, weil die Gefäfse, im Winter wie im Sommer, stets wär-

---

1 Institut. rei med.

2 De animalibus simil. et de animalium calore Libb. II. Lond. 1740. 8.

3 Comment. in Boerhavii Aphor. P. II. §. 675.

4 A. R. Martin in Schwed. Abh. Th. XXVI. S. 209. Haen Ratio medendi. 15 T. ed. alt. Vind. 1760. 8. T. XI. p. 163.

5 Philos. Trans. T. LXV. P. II. n. 43.

6 Essay sur la génération de le chaleur des animaux. Trad. de l'Angl. Par. 1751. 8.

7 Dict. rais. de Phys. Art. Chaleur anim.

mer als die äufsere Temperatur seyen; auch führt v. Haller[1] an, dafs die Gefäfse bei Fischen und Fröschen am engsten sind, diese daher die gröfste Wärme haben müfsten, da noch obendrein die Zahl der Pulsschläge bei letzteren fast doppelt so grofs ist, als bei Ochsen. Aus eben diesen Gründen ist auch die von Fryer[2] aufgestellte Hypothese, wonach die thierische Wärme durch das Reiben der festen Bestandtheile des stets bewegten Körpers erzeugt werden soll, ganz unhaltbar.

205) Die *chemische Schule* dagegen leitete früher die thierische Wärme aus Gährungen und Effervescenzen ab, welche aus der Mischung der Säfte und des Blutes entstehen sollten. Dieser Ansicht waren Willis[3], Vieussens[4], Ettmüller[5], v. Helmont[6], Sylvius[7], Bazzicaluve[8], Stevenson[9] und Andere[10]. Den unmittelbar sich aufdringenden Einwurf dafs man am Blute gar keine Gährung wahrnehme, suchte Homberg[11] durch Erfahrungen zu widerlegen, welche bewiesen, dafs das Aufbrausen mancher Mischungen erst beim Zutritt der Luft bemerkbar würden. Cromwell Mortimer[12] glaubt, die Gährung entwickele Luft aus dem Blute und diese setze das Feuer in Bewegung. Hamberger[13] kam indefs wieder auf die Gährungen zurück, welche durch die Verbindung von schwefelartigen und laugenartigen Theilen entstehen sollten und der Wärmeentbindung in Taubenmist, feuchtem Heu und andern

---

1 De partium corp. hum. fabrica et functionibus. Bernae et Laus. 1778. 8. T. IV. L. VI. sect. 3. §. 8.

2 Diss. cogitationes quasd. phys. de vita anim. et veget. complectens. L. B. 1735.

3 De fermentatione c. 5. De febribus cap. 2.

4 De remotis et proximis mixti principiis Cap. 15. 16.

5 Opera medica. 1696. p. 72.

6 Opera omn. 1682. p. 734.

7 Disput. med. Disp. X. §. 54.

8 Novum systema medico-mechanicum. 1701. 4. p. 12.

9 Medic. Bemerk. von einer Ges. zu Edinburg 1752. Th. V. S. 1099.

10 Vergl. Sprengel pragm. Gesch. d. Arzneikunde. Th. IV. Abschn. 13.

11 Mém. de Paris. 1709.

12 Philos. Trans. N. 464. Ueb. in Hamb. Mag. Th. I. S. 291.

13 Physiologia medica. Jen. 1751. 4. p. 24.

Selbstzündern ähnlich seyen. Auch RIGBY[1] nähert sich dieser Idee, indem er den Sitz der Gährungen hauptsächlich in der Gegend des Magens annimmt und somit die Ursache der Wärmeerzeugung auf die Mischung des Chylus mit dem Blute zurückführt. Selbst später noch kam STRNADT[2] auf diese ältere Meinung von Gährungen und Effervescenzen zurück, als die Physiologen vollkommen überzeugt waren, dafs durch die Mischung der Säfte und des Blutes weder Gährung noch Fäulnifs entsteht, so dafs die ganze Hypothese daher keiner weiteren Widerlegung bedarf.

206) STAHL[3] will schon seit 1684 die Idee gehegt haben, dafs die Wärme durch die Respiration in den Lungen erzeugt werde, wofür die vollkommen ausgebildeten Lungen bei den warmblütigen Thieren, insbesondere den Vögeln, entscheiden. Eine Verdichtung des Blutes in den Lungen und dadurch entstehende Erwärmung hatten schon BOERHAVE, HALES, ARBUTHNOT u. A. angenommen, setzten aber der unmittelbaren Empfindung nach voraus, dafs die Luft dasselbe wieder abkühle. Ueber die eigentliche Art, wie durch Athmen Wärme erzeugt werde, war man nicht einig, indem nach PRIESTLEY[4] die ausgeathmete Luft unter die phlogistisirten gehören, mithin Phlogiston der Brennstoff aus dem Körper ausführen, nach SCHEELE[5] die sogenannte reine Luft vielmehr Brennbares in den Körper bringen sollte. LESLIE[6] mit mehreren Andern schlofs sich dieser Meinung an, mit der Modification, dafs das Phlogiston in allen kleinen Blutgefäfsen ausgeschieden und dadurch Wärme erzeugt werde. Hierdurch entledige sich, wie man glaubte, der Körper der Menge des sonst zerstörend wirkenden Phlogistons, welches durch die Nahrungsmittel in denselben komme.

---

1 An Essay on the Theory of the production of animal Heat. Lond. 1785.

2 Mayer's Sammlung phys. Aufsätze, bes. die böhmische Naturgesch. betr. Dresd. 1791.

3 Theoria medica. p. 288.

4 Exper. and observ. on different kinds of air. T. I. sect. 4. T. sect. 5. Exper. and Observ. relating to various branches of nat. Philos. Sect. XXXIX. N. 9.

5 Chem. Abhandl. von Luft u. Feuer. Ueb. von H. LEONHARDI. Lpz. 1782. 8.

6 A philos. Inquiry into the cause of animal heat. Lond. and ab. 1778. 8. In Leipz. Samml. Th. II. S. 97.

207) Bei diesen herrschenden, sehr vagen Ansichten mufs Adair Crawford's[1] Theorie mit grofsem Beifalle aufgenom men werden, und ihr Ansehen erhielt sich auch, einiger Geg ner ungeachtet, sehr lange Zeit. Hiernach verbindet sich i den Lungen die reine Luft mit dem Phlogiston und es wi fast der sechste Theil derselben in Wasserdampf, das Uebrig in fixe Luft verwandelt. Es ist aber die specifische Wärm der reinen Luft = 4,75, des Wasserdampfes = 1,5, der fixe Luft = 1,05, wodurch also ein grofser Ueberschufs von Wärm dem Blute in den Lungen mitgetheilt werden mufs. Inde das Blut diese aufnimmt und sich im Körper verbreitet, giel es sie gegen Aufnahme des Phlogistons wieder ab, wie sic auch aus der specifischen Wärme des arteriellen und venöse Blutes = 57 zu 55 nach seinen Versuchen an Hunden bestä tigte. Die Beständigkeit der Blutwärme erklärte er mit Les lie übereinstimmend aus dem durch Verdunstung entstandene Verluste, nicht aber mit Blagden[2] aus einer Kälte erzeugende animalischen Kraft.

208) Diese Theorie, obgleich sehr allgemein mit grofse Beifalle aufgenommen, wurde zugleich wechselseitig bestritte Zuerst machte Morgan[3] Einwendungen gegen die angestellte Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme der verschie denen Luftarten, welche allerdings anfangs auffallend unrichti angegeben waren. Auch Eduard Fryer[4] zog die Richtig keit dieser Bestimmungen, welche Crawford selbst später a zu grofs erkannte, in Zweifel, hauptsächlich aber zeigte Thom son[5] gegen Dalton[6], welcher diese Theorie abermals hervor gehoben hatte, dafs nach den Bestimmungen der spec. Wärm der Gase von Laroche und Berard sie ganz unhaltbar sey indem hiernach nicht so viel Wärme entstehen könne, als er fordert werde, um die geathmete Luft allein auf die Blutwärm

1 Experiments and Observations on animal heat. Lond. 1779. 8 sec. edit. 1788. Versuche u. Beob. über thierische Wärme und d Entzündung brennbarer Körper. Leipz. 1785. 2te verm. Aufl. auf Ver anstaltung des v. Crell. Leipz. 1789. 8.

2 Philos. Trans. T. LXXI. P. II.

3 Crawford a. a. O. Deutsche Uebers. 1785. S. 175.

4 Dissert. de vita anim. et vegetantium. L. B. 1785. 8.

5 Ann. of Philosophy. T. I. p. 461.

6 Manchester Mem. 1813. T. II. p. 484.

zu erheben; Gren[1] aber gründete seine Zweifel darauf, dafs die Theile des Körpers, welche das Phlogiston aufnehmen, hierdurch in gleichem Grade an Wärmecapacität zunehmen müfsten, wonach also die ganze Wirkung durch sich selbst wieder aufgehoben würde. Er selbst leitete daher anfangs die animalische Wärme aus der Verdauung her, eine Theorie, welche unter Andern auch Eduard Rigby[2] aufstellte und mit einer Menge aus dem Zusammenhange der Verdauung mit der Erzeugung und Erhaltung der thierischen Wärme leicht aufzufindender Gründe unterstützte. Als Anhänger dieser Hypothese dürfen auch John Hunter[3] und Hermbstädt[4] genannt werden. Nach Letzterem zerlegen die Nahrungsmittel im Magen das Wasser, rauben ihm den Sauerstoff und machen dadurch Wärme frei. Man kann hiergegen indefs einfach erinnern, dafs es hiernach gar keine kaltblütigen Thiere geben könne, indem der Magen das allgemeinst vorhandene Organ in der Thierwelt ist. Auch Dr. Stevenson[5] hegte im Allgemeinen die Meinung, dafs die animalische Wärme aus der Verdauung entspringe, und der berühmte Franklin[6] sagte, das Feuer sowohl, als auch die Luft würden von den Pflanzen bei ihrem Wachsthum angezogen, verdichteten sich in ihnen und machten einen Theil ihrer Substanz aus. Bei der Verdauung und Assimilation ihrer Theile mit dem thierischen Körper, dem sie zur Ernährung gedient hätten, werde beides wieder frei und theile sich diesem mit. Der so nahe liegende Einwurf, welcher von den fleischfressenden Thieren hergenommen werden mufs, denen hiernach die aus den vegetabilischen Nahrungsmitteln hervorgehende Wärmequelle fehlen müfste, scheint hierbei übersehen oder dadurch beseitigt worden zu seyn, dafs man annahm, es finde im ganzen Körper der grasfressenden

1 Dessen Journ. der Phys. Th. I. S. 5 u. 189. Später trat derselbe der Theorie Lavoisier's bei. S. Syst. Handb. d. Chemie. 1794 ... 6. 4 Bde. 8. Th. II. §. 1674.

2 Essay on the production of animal heat cet. Lond. 1785. Lichtenberg's Mag. Th. IV. St. 4. S. 82.

3 A Treatise on the blood cet. Publ. by E. Home. Lond. 1794. ... 91.

4 Plenck Hygrologie d. menschl. Körpers. Ueb. von Davidson. ... Hrsg. von Hermbstädt. Berl. 1796. S. 40.

5 Edinburgh medical Essays. T. V. art. 77.

6 Exper. and Observations on Electricity. p. 346.

Thiere eine stete Wärmeerzeugung statt und gehe von diese[n] an die fleischfressenden über. Unbefriedigt läfst gleichfalls di[e] Hypothese Castberg's[1], als deren Anhänger Skjelderup[2] un[d] mit einiger Beschränkung auch Sprengel[3], Autenrieth und Reil[5] gelten können, wonach die Wärme aus den Nahrungsmitteln durch ihre Verdickung im thierischen Körper entstehn soll, denn Treviranus[6], welcher diese Ansicht i[m] Allgemeinen mit Recht bezweifelt, zeigt deutlich, dafs sie i[n] specieller Beziehung auf den Zustand der Auszehrung als durchaus unzulässig zu verwerfen sey. Ganz unbefriedigt läfst ab[er] Mortimer's[7] Hypothese, wonach die stete Verbindung des i[n] den thierischen Flüssigkeiten enthaltenen Phosphors mit d[er] Luft die animalische Wärme frei machen soll. Ueberhaupt läf[st] sich leicht zeigen, dafs zwar der Verdauungs- und Assimilationsprocefs der Nahrungsmittel, als den Lebensprocefs im Allgemeinen unterstützend und befördernd, die Erzeugung d[er] normalen Wärme unzweifelhaft bedingt, jedoch nicht als einzige oder erste Ursache und nur in einem untergeordnete[n] Grade mitwirkend; denn beide Processe sind bei vielen kaltblütigen Thieren mindestens ebenso stark, als bei warmblütigen, z. B. bei den Larven der Schmetterlinge, welche so vi[el] verdauen und dennoch kalt sind, wogegen die Schmetterlinge selbs[t] bei weniger Nahrung, eine gröfsere Wärme besitzen[8].

209) Unter den Gegnern Crawford's möge endlich noc[h] Leop. Vacca Berlinghieri[9] genannt werden, welcher durc[h] Rechnung zeigte, dafs der in der eingeathmeten Luft enthalte[ne] Wasserdampf vermöge seiner grofsen Wärmecapacität allei[n] mehr Wärme erfordere, als die gröfsere specifische der reine[n] Luft betrage, und zwar in einem solchen Mafse, dafs hiernac[h]

---

1 Rafn's Biblioth. for Physik, Medicin og Oekonomie. T. XVII p. 76.
2 Dissert. de vi frigoris incitante.
3 Instit. med. T. II. p. 121.
4 Handbuch d. Physiologie 1801. Th. I. S. 351.
5 Archiv für Physiol. Th. I. H. 3. S. 100.
6 Biologie. T. V. p. 57.
7 Philosophical Transact. N. 476.
8 Vergl. Rudolphi Physiologie Th. I. S. 191.
9 Esame della teoria del calore del cel. Inglese Crawford ec[c.] Pisa 1787. 4.

vielmehr Kälte bis zum Gefrieren des Quecksilbers durch den Athmungsprocefs entstehn müsse. Allerdings ist unverkennbar, dafs CRAWFORD's Theorie in dieser ältern Form zur Erklärung des fraglichen Problems nicht genügt, inzwischen darf nicht vergessen werden, dafs er der Erste war, welcher der herrschenden Ansicht zuwider aus dem Einathmen der Luft keine Abkühlung, sondern vielmehr eine Wärmeerzeugung ableitete. In der spätern Auflage seiner Schrift modificirte er seine Hypothese so, dafs sie sich mehr der antiphlogistischen Theorie anschlofs, indem er die Ursache der erzeugten Wärme in die geathmete reine Luft setzte, welche hierbei, wie beim Verbrennen und Verkalken, wirke und Phlogiston wegführe.

210) LAVOISIER[1] erklärt den Ursprung der thierischen Wärme übereinstimmend mit der nach ihm benannten *antiphlogistischen Theorie.* Hiernach ist das Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft die eigentliche Quelle der erzeugten Wärme, indem der Kohlenstoff in den Lungen durch dasselbe gesäuert wird und also gleichsam verbrennt. Um diesen Satz durch Versuche zu prüfen, mafs er in Verbindung mit LAPLACE vermittelst seines Calorimeters die Wärme, welche ein Meerschweinchen während der Erzeugung von 224 Gr. kohlensauren Gases abgab, verglich sie mit der durch Verbrennung von Kohle bis zur Bildung einer gleichen Quantität Kohlensäure hervorgebrachten und fand, dafs jene 13 Unzen Eis, diese dagegen nur 10,4 schmolz. Man darf also mit Rücksicht auf ie bedingenden Nebenumstände annehmen, dafs durch diese ersuche und die seitdem bestimmt ausgemittelten Gesetze er Verbrennung die Quelle der thierischen Wärme aufgefunden sey, insbesondere wenn man dasjenige berücksichtigt, was ben über Wärmeerzeugung durch Chemismus beigebracht worden ist[2]. Als einen vorzüglichen Beweis für die Richtigkeit dieser ypothese hat man oft die gröfsere Röthe des arteriellen Blutes Vergleichung mit dem venösen angeführt, wodurch ein höherer Grad der Säuerung dargethan würde. Mit Uebergehung

1 Mém. de l'Acad. 1777. p. 590.

2 Vergl. KLÜGEL's Encyklop. Th. II. S. 471. GIRTANNER in Journ. Phys. 1790. Juin. p. 422. Ueb. in Gren's Journ. d. Phys. Th. III. 317 u. 507. Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Berl. 2. S. 236 ff.

mancher früherer Behauptungen mag es genügen, die Resultate der genauen Untersuchungen John Davy's[1] über diesen Gegenstand hier zu erwähnen. Dieser fand erstlich keinen wesentlichen Unterschied der Wärme des Venen- und des Arterienblutes, außer was vom specif. Gewichte herrührt. Inzwischen ist das Arterienblut etwas wärmer, und auch die linke Seite des Herzens mehr als die rechte. Zweitens aber nimmt die Temperatur mit der Entfernung vom Herzen ab. Hiernach ist er mit Black der Ansicht, daſs die Wärme in den Lungen erzeugt werde.

211) Diese im Wesentlichen genügende Theorie ist seit ihrer Bekanntwerdung mit verschiedenen bald mehr bald weniger bedeutenden, mitunter ganz nichtigen Gründen bestritten worden. Einige setzten ihr entgegen, daſs die Häute der Lungen für Luft undurchdringlich seyen und das Sauerstoffgas daher gar nicht zum Blute gelangen könne. Inzwischen dringt dieses Gas bekanntlich selbst durch die dicksten Rindsblasen[2], um so mehr also durch die dünnen Häutchen der Lungen. Es ist indeſs eine ganz falsche Vorstellung, wenn man die Lungen gleichsam als den Heerd der Verbrennung und die gesammte entstehende Wärme als unmittelbares Product dieses Processes betrachtet. Vielmehr hat van Mons[3] gründlich gezeigt, daſs das Sauerstoffgas zwar dem Blute in den Lungen mitgetheilt werde, die Zersetzung desselben aber in den feinern Gefäſsen des ganzen Körpers geschehe[4]. Hiernach hält er die thierische Wärme für ein Product der Lebensthätigkeit und setzt sie dieser letztern allezeit proportional, welches mit der Ansicht G. F. Parrot's[5] übereinstimmt, daſs das Fieber ein wärmeerregender Proceſs sey und die Temperatur auch wirklich erhöhe. Noch mehr modificirt und näher bestimmt ist diese Ansicht durch Madai[6], Darwin[7] und vorzüglich Hildebrandt[8]

1 Philos. Trans. 1814. p. 590.

2 Vergl. *Adhäsion*. Bd. I. S. 200.

3 Théorie de la combustion. Brux. 1802. p. 77. Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 121.

4 Vergl. Brandis über die Lebenskraft. S. 74.

5 Ueber den Einfluſs der Physik u. Chemie auf die Arzneikunde. Dorpat 1807. 4.

6 Reil Archiv für die Physiol. Th. III. S. 110.

7 Ebendaselbst. S. 26.

8 Lehrbuch d. Physiologie. 2te Aufl. §. 530.

nach welchem Letzteren insbesondere alle aus dem Blute gebildete festere Theile mehr Sauerstoff enthalten, als das Blut selbst, so dafs also hiernach durch alle feste Theile dem Blute Sauerstoff entzogen, seine Capacität dadurch vermindert und somit die Wärme vermehrt wird. Hiernach ist es unzulässig, die Menge der erzeugten Wärme nach CRAWFORD und SUCKOW[1] blofs auf die specifische Wärme des verzehrten Sauerstoffgases und der gebildeten Kohlensäure zurückzuführen. Nach Letzterem ist in Beziehung auf das Volumen die specifische Wärme des Sauerstoffgases = 4,749 und des kohlensauren Gases = 1,045, so dafs also bei der neuen Verbindung ein Ueberschufs von 3,704 bleiben würde, allein nach den genauern Bestimmungen von DE LA ROCHE und BERARD[2] sind diese, das Volumen genommen, = 0,9765 und 1,2583, so dafs also vielmehr Kälte entstehn müfste. Diese Betrachtungen haben auch verschiedene Gelehrte, z. B. LE GALLOIS[3], BUNTZEN[4], NASSE[5] und Andere bewogen, diese sonst gangbare Theorie zu bezweifeln; allein hierzu ist durchaus kein genügender Grund vorhanden, da oben nachgewiesen worden ist, dafs sich die durch Verbrennungsprocesse erzeugte Wärme nicht allezeit aus den specifischen Wärmecapacitäten der verzehrten Gase, namentlich des Sauerstoffgases, ableiten läfst, und dennoch ist auf keine Weite zu bezweifeln, dafs die freiwerdende Wärme ein Erzeugnifs der Verbrennung sey, letztere gehört aber ebenso gewifs unter die Classe der chemischen Verbindungen, deren viele, ja wohl die meisten, gleichfalls Wärme erzeugen. Sofern daher die Säuerung des Blutes durch das Athmen die auffallendste Aehnlichkeit mit einem langsamen Verbrennen hat, die Functionen des thierischen Lebens aber sich zum grofsen Theile auf Chemismus zurückführen lassen, so müssen wir um so mehr in der Bildung der Kohlensäure aus dem geathmeten Sauerstoffgas und den zum Chemismus gehörigen Functionen des thierischen Or-

---

1 Anfangsgründe der Physik u. Chemie nach den neuesten Entdeckungen. 2 Th. 8. Th. I. S. 365.

2 Journ. de Physique T. LXXVI. p. 155. Vergl. unten §. 386.

3 Le sang est-il identique dans touts les vaisseaux qu'il parcourt? Par. 1802. p. 44.

4 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenhagen 1805. 8.

5 Reil's u. Autenrieth's Archiv. Th. XII. S. 409.

ganismus die Ursache der thierischen Wärme suchen, je mehr diese bei den verschiedenen Thierclassen, bei einzelnen Individuen und in verschiedenen Zuständen der Intensität dieser Processe proportional ist[1].

212) Im Allgemeinen wurde diese Theorie von den Physiologen angenommen; inzwischen müssen wir noch einige Modificationen erwähnen, wodurch einige dieselbe verändert und scheinbar oder wirklich verworfen haben. Gleichzeitig mit LAVOISIER stellte Dr. PEART[2] seine Theorie auf, wonach das Phlogiston und ein gewisser Aether sich mit der fixen Materie auf vielfache Weise verbinden und dadurch sowohl Wärme als auch Bewegung erzeugen sollen, wobei er annahm, dafs das Phlogiston den Nerven, der Aether aber dem Blute angehöre. Gehaltreicher, obgleich nichts weniger als genügend klar, wegen der Darstellung in der Sprache der damals gangbaren sogenannten Naturphilosophie, ist die durch BUNTZEN[3] aufgestellte Hypothese. Nach ungenügenden Versuchen über den Einflufs galvanischer Reize auf die Muskelbewegung und dadurch scheinbar entbundene Wärme will er den Ursprung der letzteren aus einer erhöhten Thätigkeit der Muskelkraft in den Animalien, verbunden mit gleichzeitiger Einwirkung galvanischer Kräfte, ableiten, was aber im Ganzen auf ein Spiel mit eingebildeten elektrischen Wirkungen hinausläuft. Auch DE LA METHERIE[4] ist geneigt, der Muskelbewegung einen Antheil an der Erzeugung der thierischen Wärme beizulegen, die er jedoch der Hauptsache nach auf einen Verbrennungsprocefs in der Art zurückführt, dafs sie durch die Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff erzeugt werde, wie denn auch beim gewöhnlichen Verbrennen die erzeugte Hitze aus dem Wasserstoff entstehe, welcher nach den Versuchen von DE LA ROCHE und BERARD eine so grofse specifische Wärmecapacität habe.

---

1 Vergl. RUDOLPHI Physiologie Th. I. S. 189. De la chaleur animale et de ses divers rapports. Par F. JOSSE DE RENNES. Par. an IX. 8. EVERARD HOME über die Structur d. Lungen in Philos. Trans. 1827. p. 60.

2 The generation of animal Heat investigated. Gainsbourgh 1788. 8.

4 Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenh. 1805. 8. Vergl. G. XXV. 147.

4 Journ. de Phys. LXVI. p. 142 u. 278.

Inzwischen ist die Erzeugung von Wasser im thierischen Körper durch einen Verbrennungsprocefs dieser Art gar nicht nachweisbar und bei einer grofsen Menge von Verbrennungen Wasserstoff gar nicht vorhanden. Mit Uebergehung der Hypothesen von De la Rive und Chossat[1] mögen noch die Ansichten Matteucci's[2] erwähnt werden. Dieser verwirft die Hypothese De la Rive's, wonach die Wärmeentwickelung in den Nerven auf gleiche Art geschehn soll, als im Rheophore, weil eine hierzu genügende elektrische Strömung in den Nerven gar nicht vorhanden sey; auch genügt ihm nicht, dafs Chossat die Erzeugung der thierischen Wärme von der Nerventhätigkeit ableitet. Um durch Versuche zu entscheiden, senkte er ein feines Thermometer in den Schenkelmuskel eines Kaninchens, nachdem er die dahin führenden Arterien und Venen unterbunden hatte, ohne Unterbrechung der Nerven. Bei 7° äufserer Temperatur zeigte das Thermometer 36°,3, ging aber in einer halben Stunde auf 25° herab. In Folge eines nach verschiedenen Richtungen durchgeleiteten elektrischen Stromes zeigten sich Muskelcontractionen, aber die Temperatur blieb dennoch bis etwa 1° über die der Umgebung. Bei einem andern Kaninchen durchschnitt er den Crural- und Ischiatischen Nerv, liefs aber den Blutumlauf frei, worauf das Thermometer binnen 15 Minuten nur um 1° herabging und dann unverändert blieb. Hiernach schliefst er die Mitwirkung der Nerven aus, leitet dagegen die Wärme aus dem Blute ab, beruft sich dabei aber auf Pouillet's erwähnte Erfahrungen (118), wonach durch Benetzung lockerer Substanzen Wärme frei wird. Er selbst pulverisirte animalische Theile, fand diese Erfahrungen bestätigt, und glaubte daher, dafs die thierische Wärme durch die im ganzen Körper vorgehende Nutrition als ein physikalischer und chemischer Procefs erzeugt werde, was schon deswegen in diesem Sinne unmöglich ist, weil die zu verbindenden Theile nicht trocken sind.

213) Grofses Aufsehn machte seiner Zeit eine Reihe von Verhandlungen, wozu hauptsächlich Brodie Veranlassung gab.

---

1 Biblioth. univ. T. XV. p. 87.
2 Quetelet Corresp. math. et phys. T. VIII. p. 223. Vergl. L'Institut 1834. N. 69.

Schon früher hatten Brandis[1] und Roose[2] die Entstehung der thierischen Wärme auf die Nerventhätigkeit zurückzuführen gesucht, und noch bestimmter geschah dieses durch B. C. Brodie[3]. Dieser fand, daſs bei einem Kaninchen nach getrennten Nerven bei künstlich unterhaltener Respiration keine Wärme entbunden werde, und er betrachtete sonach die Nerven als alleinige Ursache der thierischen Wärme, ohne jedoch den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung nachzuweisen. Er selbst und seine Anhänger übersahn hierbei die so nahe vor Augen liegende Täuschung, daſs nämlich der Proceſs der Respiration mit der Wirkung derselben, nämlich der Wärmeerzeugung, verwechselt worden sey, und daſs die letztere unmöglich eine Folge des mechanischen Ein- und Ausströmens der Luft seyn könne, sondern des Chemismus der verschiedenen Verbindungen und Zersetzungen, welche zugleich damit verbunden seyn müssen. Wäre dieses nicht, so müſste auch Wärme in einem todten Thiere erregt werden, wenn man durch Compression abwechselnd Luft in seine Lungen preſste und wieder herausdrückte. Daſs übrigens ein Causalzusammenhang zwischen der Respiration und dem Gehirn statt finde, wuſste man schon lange, namentlich durch Blumenbach[4].

214) Inzwischen wurde von mehreren Seiten wiederholt daſs die Respiration vom Gehirne abhänge, mit der mehr oder weniger bestimmten Andeutung, daſs sonach auch die thierische Wärme ein Product der Nerventhätigkeit sey[5]. Sofern es sich bloſs um die Bewegung handelt, welche den Athmungsproceſs bedingt, zeigt eine lange und schöne Reihe von Versuchen, die Le Gallois[6] anstellte, evident, daſs das Athmen eine Wirkung der Nerventhätigkeit sey, und daſs mit dem Aufhören der letzteren auch die Wärme abnehme, welches mit den Resultaten anderer, durch Dupuytren, Blainville und

---

1 Journ. d. Erfindungen u. s. w. in Natur- und Arzneiw. St. 17. S. 8.

2 Ueber die Lebenskraft. S. 859.

3 Philos. Trans. 1810. p. 36. 1812. P. II. G. LXVI. 80.

4 Comm. Soc. Reg. Gott. T. VIII. Vergl. dessen Institutiones physiol. Gott. 1787. ed. 3. ib. 1810.

5 Die Respiration, als vom Gehirn abhängige Bewegung u. s. w. von Bartels. Bresl. 1813.

6 Expériences sur le principe de la Vie. p. 248.

Dumas angestellter Versuche[1] genau übereinstimmt. Sehr richtig zeigt aber Emmert[2], dafs Brodie das Haupterfordernifs, nämlich eine Untersuchung der chemischen Veränderung der künstlich geathmeten Luftarten, gänzlich vernachlässigt habe; ja er selbst will gefunden haben, dafs sogar nach dem Tode durch künstliche Respiration noch einige Wärme erzeugt werde, sobald noch eine geringe Zersetzung der geathmeten Luft statt finde. Mehrere Gelehrte machten bei ihren Untersuchungen über das Athmen auf die Menge der erzeugten Kohlensäure und die hieraus hervorgehende unverkennbare Aehnlichkeit des Athmungsprocesses mit einem wirklichen Verbrennen aufmerksam, z. B. Thomson[3], Prout[4] und Andere. Indem dann ferner Provençal[5] zeigte, wie die Wärme bei verminderter Respiration abnimmt, und John Davy aus seinen oben erwähnten Versuchen folgerte, dafs die Wärme zunächst in den Lungen erzeugt und von hier aus durch den ganzen Körper verbreitet werde, so mufste Lavoisier's Theorie gehörig modificirt durch dieses alles sehr an Ansehn gewinnen. Am genügendsten und vollständigsten ist indefs die ganze Aufgabe erörtert worden durch eine Reihe ebenso zweckmäfsiger als genauer Versuche von Le Gallois[6], woraus sich ergiebt, dafs die erzeugte Wärme allezeit der Menge des verzehrten Sauerstoffgases proportional ist, welche mit der gröfsern oder geringern Munterkeit, dem Wohlseyn und überhaupt der Lebensthätigkeit der Thiere in verschiedenen Zeiten wechselt und im Allgemeinen zur Gröfse derselben in einem nahen Verhältnisse steht, ohne ihrem Gewichte genau proportional zu seyn. Sonach läfst sich die thierische Wärme allerdings als eine Wirkung der Respiration betrachten und gehört unter die Classe der Verbrennungen, modificirt durch die Eigenthümlichkeiten des Lebensprocesses. Dafs dabei die Nerventhätigkeit, welche auf den ganzen Organismus und die Respiration selbst einen so grofsen Einflufs hat, bedingend einwirke, dafs auch nachtheilige Ner-

1 Mém. de l'Inst. T. XII. LXXX.

2 Hufeland und Harles Journ. d. prakt. Heilkunde 1815. St. 3. 55.

3 Annals of Philos. 1815. Jun. N. XXX. art. 4.

4 Schweigger's Journ. Th. XV. S. 56.

5 Mém. de l'Instit. T. X. p. 86

6 Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 1.

venaffectionen die Wärme herabstimmen können, ist nicht zu bezweifeln; als einzige und unmittelbare Wirkung der Nerven kann aber die Erzeugung der thierischen Wärme schon deswegen nicht betrachtet werden, weil kein Verhältnifs des Nervensystems zur Wärme vorhanden ist. Hiernach müfste nämlich der Mensch die gröfste Wärme haben, die Säugethiere müfsten den Vögeln voranstehn, und diese sich wenig von den Amphibien unterscheiden, die Insecten endlich tief unter den Fischen stehn, alles der Erfahrung widerstreitend[1]. Dennoch wird diese Ansicht noch von einigen Physiologen in Schutz genommen, indem sie entweder die Nerventhätigkeit unbestimmt als unmittelbare Ursache der thierischen Wärme darstellen, oder sie als eine mittelbare betrachten, wie z. B. P. Wilson Philip[2], nach dessen Meinung die Wärme durch den Einflufs der Nerven auf das Blut entsteht und nach der Analogie anderer Absonderungen von Flüssigkeiten gleichfalls als eine Absonderung erscheint.

215) Einen nicht unwichtigen Beitrag zur Bestätigung von Lavoisier's Hypothese haben Dulong und Petit geliefert[3]. Durch Versuche mit einem Calorimeter fanden sie: 1) dafs die pflanzenfressenden Thiere viele Kohlensäure erzeugen, welche beinahe der Menge des verzehrten Sauerstoffgases gleich ist. 2) Fleischfressende Thiere verzehren weit mehr Sauerstoffgas, die erzeugte Kohlensäure beträgt aber nur etwa die Hälfte des verzehrten Sauerstoffgases. 3) Bei diesem letzteren beträgt die durch verzehrtes Sauerstoffgas und erzeugte Kohlensäure entbundene Wärme, wenn wir sie als blofses Product der Verbrennung betrachten, 40, 49 und 55 Procent der gesammten animalischen Wärme, 4) bei den pflanzenfressenden Thieren aber 60 bis 75 Procent. 5) Wenn man nach Lavoisier und Laplace die durch Wasserbildung erzeugte Wärme zu der durch Kohlensäurebildung hervorgebrachten addirt, so erhält man die Summe der durch Athmung erzeugten, die bei den Herbivoren

1 Rudolphi Physiologie. Th. I. S. 189. Treviranus Biologie. Th. V. S. 1. John Davy in Edinburgh Philos. Journ. N. XXVII. p. 45.

2 Eine auf Versuche gegründete Untersuchung über die Gesetze und Functionen d. Lebens u. s. w. Aus d. Franz. von Sontheimer. Stuttg. 1822. 8. Cap. 8.

3 Schweigger's Journ. Th. XXXVIII. S. 505. Th. XLV. S. 47.

70 bis 75 Procent, bei den Carnivoren 75 bis 80 Procent der gesammten thierischen Wärme beträgt; der Rest mufs also durch sonstige organische Processe entwickelt werden.

216) Noch mufs zum Beschlusse die Preisschrift erwähnt werden, worin Despretz[1] diesen Gegenstand ausführlich behandelt hat und wofür er 1823 den Preis vom Nationalinstitute erhielt. Seine eigenen Bestimmungen der mittleren Temperatur der verschiedenen Animalien sind von keinem vorzüglichen Werthe und scheinen insgesammt etwas hoch, namentlich auch die des Hundes, wie oben bereits bemerkt wurde. Nur der Vollständigkeit wegen mögen daher einige hier Platz finden.

	Mittlere Temperatur:
der Menschen zwischen 30 bis 68 Jahren	37°,13
— — von 18 Jahren	36,99
der Kinder von 1 bis 2 Tagen	35,06
erwachsene Raben	42,91
vier Nachteulen	40,91
Kauz, Männchen und Weibchen . . .	41,47
Tauben	42,98
Sperling	41,96
Katze	39,78
Meerschweinchen	35,76
zwei Karpfen im Wasser von 10°,83 .	11,69

r genaueren Erörterung der Aufgabe wählte er das schon von voisier und Laplace angewandte Mittel, die durch Thiere d durch verbrennende Kohlen bei gleicher Production von hlensäure erzeugten Wärmemengen zu vergleichen, wobei er h des Wassercalorimeters bediente. Der zu verbrennende hlenstoff wurde aus verkohltem, ganz weifsem Zucker gennen und enthielt durchaus keinen Wasserstoff. Aus mehr 200 Versuchen ging das Resultat hervor, dafs die Respiran und die Erzeugung der Kohlensäure durch Absorption des erstoffgases der Luft die hauptsächlichste Quelle der thiehen Wärme ist, indem die Assimilation, die Bewegung des tes und die Reibung der verschiedenen Theile(?) den gegfügigen zurückbleibenden Rest ersetzen können. Es wird

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 337.

indefs aufser dem zur Bildung der Kohlensäure dienende Sauerstoffgas noch eine Quantität desselben verzehrt, mitunt eine nicht unbedeutende im Verhältnifs zur erstern, wovo man glaubt, sie verbinde sich mit dem Wasserstoff des Blute Die durch die Respiration als Verbrennungsprocefs betrachte Wärmeproduction betrug nie weniger als 0,7 der gesammte thierischen Wärme und dieses nur bei jungen Individuen, si überstieg aber nie 0,9 derselben.

217) Fassen wir das Ganze zusammen, so ergiebt sicl dafs die richtige Theorie über die Erzeugung der thierische Wärme von Crawford geahnet, durch Lavoisier und La place begründet, durch Dulong und Petit, so wie durc Despretz und Andere nur bestätigt und etwas erweitert wurd indem sie zeigten, dafs der in den Lungen statt findende Verbrennungsprocefs nicht die einzige Ursache sey, sondern da die im ganzen Körper statt findenden Assimilationsprocesse zugleich als mitwirkend erscheinen müssen. Aus dem Umstand dafs nicht übereinstimmend mit sonstigen Verbrennungsprocessen die durch den animalischen erzeugte Wärme eine stet constante und nur unbedeutend wechselnde Gröfse ist, kan kein Einwurf gegen die Richtigkeit der Theorie hergenomme werden, denn dieses ist Folge des feinern Lebensprocesses, wa um so weniger zweifelhaft seyn kann, als sich in viele Stücken nachweisen läfst; inwiefern die gesteigerte oder deprimirte Lebensthätigkeit die Wärmeproduction modificirt, worüber wir hier aber nicht ausführlicher handeln können[1].

5) Wärmeerzeugung durch Elektricität.

Da die Elektricität in einen hell leuchtenden Funken ausbricht, in feurigen Strahlen aus dem Conductor strömt, verschiedene Körper durch den einfachen Funken entzündet und durch den Flaschenschlag Metall verbrennt, so war es natürlich, dafs man ihr eine wärmeerregende Kraft beilegte. Inzwischen sind die Phänomene, welche sie zeigt, keineswegs so einfach, als man hiernach vermuthen sollte, denn unter andern vermag

1 Eine schätzbare Zusammenstellung der meisten bis dahin bekannten Thatsachen ist enthalten in: De calore animali cet. auct. Leo. Raphaelowicz Gruenberg. 1820. 4.

ein Batteriefunken, welcher die strengflüssigsten Metalle sofort in Dampf verwandelt, weder Zündschwamm noch Schiefspulver zu entzünden. Es ist daher in Beziehung auf die Theorie der Wärme von grofser Wichtigkeit, die Thatsachen zuvor genau zu erörtern[1].

218) In Gemäfsheit der angegebenen, bei der allmälig fortschreitenden Bearbeitung der Elektricitätslehre sehr bald bekannt gewordenen Thatsachen war man geneigt, das elektrische Fluidum als an sich erwärmend zu betrachten, und dieses mag den neuesten Erfahrungen zufolge auch allerdings wohl der Fall seyn, wenn gleich in manchen Fällen die Masse, welcher Elektricität mitgetheilt wird, so grofs und die erregende Wärme so gering ist, dafs man sie thermoskopisch wahrzunehmen nicht vermag. Letzteres ist namentlich der Fall bei elektrisirten Personen, an denen man nach den Versuchen von Van Marum[2] keine Erhöhung der Temperatur wahrnimmt. Einen wichtigen Beitrag zur Entscheidung dieser Frage lieferten die Versuche mit Kinnersley's *Luftthermometer*[3], aus denen man folgerte, dafs die Elektricität nicht allgemein, sondern nur dann Wärme errege, wenn sie Widerstand findet. Zu bewundern ist indefs, dafs man auf diese, mit so grofser Sorgfalt angestellten Versuche so wenig geachtet hat, denn sie verdienen nochmals mit der ganzen, gegenwärtig üblichen Genauigkeit wiederholt zu werden, um auszumitteln, ob wirklich bei vollkommen genügender Leitung der Elektricität keine Wärme durch sie entbunden wird. Gewifs ist, dafs weder ein Luftthermometer noch ein Quecksilberthermometer, deren Kugeln einen elektrischen Conductor berühren, eine Erhöhung der Temperatur zeigen, auch selbst ein Quecksilberthermometer, in dessen Kugel ein Stahlstift eingeschmolzen ist, und ein anderes, in dessen Kugel zwei einander gegenüber stehende Platin-

---

1 Da es hier nicht darauf abgesehn ist, alle zur Wärmeerregung durch Elektricität gehörigen Phänomene vollständig mitzutheilen, so verweise ich auf Fechner in: Lehrbuch d. Experimentalphysik. Leipz. 1829. Th. II. S. 266 über die Erhitzung durch Reibungselektricität und Th. III. S. 304 über Wärmeerscheinungen der Kette, wo die Thatsachen sehr vollständig zu finden sind.

2 G. L. 88.

3 S. Art. *Luftthermometer*. Bd. VI. S. 620. Philos. Trans. 1763. 4.

drähte eingeschmolzen sind, zeigen ersteres beim Eindringen der Elektricität aus einem geladenen Conductor, letzteres beim Durchströmen der Elektricität aus demselben die mindeste Erhöhung der Wärme, was jedoch die Folge der Schwäche des elektrischen Stromes und der ungenügenden Empfindlichkeit der Thermometer seyn mag. Dennoch entzündet ein kleiner elektrischer Funke das Knallgas, wie die *elektrische Lampe*[1] und die *elektrische Pistole*[2] zeigen. Durch einen Funken aus einer Flasche von nur etwas mehr als einem Quadratfuſs Belegung läſst sich Hexenmehl oder Kolophoniumpulver im sogenannten *Donnerhaus*[3] entzünden; Aether, Alkohol und Terpentinspiritus, die beiden letztern nach Erwärmung, gerathen durch einen in sie schlagenden oder aus ihnen gezogenen einfachen Funken in Brand; legt man auf einen elektrischen Conductor einige Brocken Kampher und entzündet diese, so löscht eine genäherte Spitze durch den erregten Wind die Flamme aus, der elektrische Funke aber aus einer genäherten kleinen Kugel bringt sie wieder hervor; ein Stückchen Phosphor endlich, an einer Kugel klebend und dem ersten Conductor genähert, entzündet sich augenblicklich. Am interessantesten unter den bekannten Versuchen ist, daſs der stärkste Flaschenfunke, durch Schieſspulver geleitet, dasselbe zerstreuet, und es nur dann entzündet, wenn die vollständige Leitung durch einen nassen Bindfaden oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, die man in den leitenden Draht einschaltet, gehemmt wird, wie nicht minder, daſs die Spitze eines abgerissenen Stückchens Schwamm, die man auch mit den Fingern etwas zusammendrehn kann, sich entzündet, wenn man sie dem Knopfe einer schwach geladenen Batterie oder selbst der Hand und sogar der Zunge einer mit der innern Belegung der Batterie verbundenen isolirten Person nähert, wobei letztere an der zündenden Stelle keine merkliche Hitze empfindet. Nehmen wir hierzu das Verbrennen der Metalle durch den Batteriefunken, das Erglühn der Metalldrähte im Kreise mächtiger Calorimotoren[4], das Ver-

---

1 S. Art. *Lampe*, *elektr.* Bd. VI. S. 75.

2 S. Art. *Pistole*, *elektr.* Bd. VII. S. 573.

3 S. Art. *Donnerhaus.* Bd. II. S. 578.

4 Ueber die Anwendung dieses Mittels zur Entzündung des Schieſspulvers in Minen oder beim Steinsprengen s. Sixth Report of the British Association. Lond. 1837. p. 45.

brennen der Metalle und namentlich des Quecksilbers im hydroelektrischen, thermoelektrischen und magnetoelektrischen Strome, so läfst sich die Wärmeerzeugung durch die elektrischen Ströme jeder Art, wenn sie von hinlänglicher Stärke sind, gar nicht bezweifeln, und die Frage ist nur, ob allezeit eine dem elektrischen Strome proportionale Wärme auch dann erzeugt wird, wenn eine hinlängliche Leitung vorhanden ist.

219) Zuerst scheint es allerdings, als ob der Widerstand gegen die freie elektrische Strömung ihre Wärmeerregung verstärke; denn wenn man mit dem einen Platindrahte des eben genannten Thermometers den Conductor einer Maschine, die etwa 4zollige Funken giebt, berührt und dem andern Platindrahte einen metallenen Leiter auf eine halbe bis 2 Lin. nähert, so bewirkt das anhaltende Durchströmen der Elektricität kein merkliches Steigen des Quecksilbers, Adams[1] dagegen oder Nairne[2] hielt ein blofses Thermometer in den elektrischen Strom zwischen zwei hölzerne Kugeln und sah dadurch das Thermometer von 18°,33 bis 43°,33 steigen, und Van Marum[3] sogar von 7°,22 bis 66°,66 C. Inzwischen gilt dieser Satz nicht in der Ausdehnung, dafs die Erwärmung der Gröfse des Widerstandes direct proportional zu nehmen wäre, wie schon daraus von selbst hervorgeht, dafs der Leitungswiderstand die Menge der durchströmenden Elektricität vermindert und somit also die wirkende Ursache kleiner macht. Die neuesten, mit gehöriger Umsicht angestellten Versuche haben auch über dieses Problem des gehörige Licht verbreitet. Aus diesen geht hervor, dafs mächtige elektrische Ströme, durch grofse Calorimotoren erzeugt, eine Hitze geben, welche der des Knallgasgebläses nahe kommt[4]. Wärmeerregung durch starke Ströme der Reibungs- und Hydroelektricität war also schon seit langer Zeit als unbestreitbare Thatsache anerkannt worden; dafs der magnetoelektrische Strom die nämliche Wirkung äufsere, beweisen die Funken der verbrennenden Metalle, die man durch denselben erhält, noch auffallender und unbestreitbarer

1 Essay on Electricity. 2d. ed. Lond. 1785. p. 384.
2 Ann. of Philos. T. XX. p. 336.
3 Gren's neues Journ. d. Phys. Th. III. S. 7.
4 Vergl. G. LV. 118.

aber entscheidet hierfür das fortwährende Glühen eines feine Platindrahts, welcher in den Rheophor dieses Stromes einge schaltet ist, nach v. Ettingshausen[1]. Vom thermoelektrischen Strome läfst sich das Nämliche aus dem Funken de verbrennenden Quecksilbers beim Oeffnen der Kette folgern allein dagegen würde die Einwendung gelten, dafs diese Wirkung nicht vom ursprünglichen thermoelektrischen, sondern von Inductionsstrome herrühre. Inwischen hat Watkins[2] vermittelst eines Breguet'schen Metallthermometers und eines nacl Harris's Angabe verfertigten Luftthermometers neuerdings gefunden, dafs auch der Leitungsdraht einer thermoelektrische Säule von hinlänglicher Stärke unverkennbar Wärme entbindet[3]. Somit wäre also erwiesen, dafs alle elektrische Ström die Kraft besitzen, Wärme zu entbinden, und wenn diese be manchen älteren Versuchen nicht wahrgenommen wurde, so la die Ursache in ihrer geringen Menge und der Unvollkommenheit der angewandten Thermoskope. Sofern aber genügend erwiesen worden ist, dafs alle elektrische Ströme, welches Ursprungs sie auch seyn mögen, einiger Modificationen ungeachtet dem Wesen nach identisch sind, so reducirt sich die Aufgabe darauf, die Bedingungen aufzufinden, durch welche un unter welchen Wärme durch elektrische Ströme entbunde wird, und die bei einer Art der elektrischen Strömung aufgefundenen Gesetze werden dann auf alle gleichmäfsig anwendbar seyn.

220) Verschiedene lehrreiche Versuche über die Wärmeerregung durch den elektrischen Strom einer Volta'schen Säul hat De la Rive[4] bekannt gemacht. Hierbei fand er das scho durch H. Davy mit Children's Apparate erhaltene Resulta

1 Bericht über die Versammlung deutscher Naturforscher u. Aerzt in Prag 1837. S. 283.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXXVI. p. 81. Poggendorff' Ann. XLVI. 496.

3 Die Anwendung eines solchen Metallthermometers für dieser Zweck ist nicht geeignet, weil die Elektricität aufser dem erwärmenden noch einen andern Einflufs auf das Volumen der durchströmter Metalle ausübt. §. 227. Nach v. Marum verkürzte sich ein 18 Z. langer Draht durch einen elektr. Schlag um 0,25 Z. Aehnliche Resultate erhielt Nairne. S. Lichtenberg Mag. Th. I. St. 2. S. 22.

4 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Génève T. III p. 128.

stätigt, dafs gleiche elektrische Ströme in gleich dicken und eich langen Drähten um so mehr Wärme erregen, je besser se leiten, und dafs z. B. in einem aus Stücken von Silber d Platin zusammengesetzten Drahte blofs das Platin und nicht s Silber erglüht, dafs ferner bei Schwächung des Stromes weilen nur die Enden des Platins und bei einer Kette aus ichen Drahtstücken nur die Stellen der Einhängung über-ıpt oder stärker erglühn. Nach PELTIER[1] steht die Länge erglühenden oder erhitzten Drahtes im hydroelektrischen ome mit seiner magnetischen Kraft und also mit der Intensität fortgeleiteten Elektricität im genauesten Zusammenhange der , dafs ein Draht von gegebener Dicke und Länge, welcher : Ablenkung der Thermometernadel von 20° bewirkt und : Temperaturerhöhung von 10° erhalten hat, bei mehrern ern Länge gleichfalls 10° Wärme annehmen wird, sobald Strom so weit verstärkt ist, dafs die Ablenkung der Ma-nadel wieder 20° beträgt. Bei gleicher Intensität des elek-hen Stromes erhält also ein Draht in seiner ganzen Länge elbe Temperaturerhöhung, wie grofs auch seine Länge bei ränderter Dicke seyn mag, selbst auch wenn seine Enden ine kalte Flüssigkeit getaucht sind. Ein anderes Resultat, ach die Temperatur eines gegebenen Drahtes, mittelst der stelle eines thermoelektrischen Thermometers gemessen, im ichen Verhältnifs steigt, wenn die Ablenkung der Magnet-um das Doppelte der Grade wächst, schien ihm mit der ung sonstiger Wärmequellen nicht übereinzustimmen; er rholte daher diese Versuche[2], fand aber dasselbe bestä-

Hiernach ist es daher als ausgemacht anzusehn, dafs agnetoelektrischen, thermoelektrischen und hydroelektri-Ströme eine ihrer Intensität nach einem gewissen, hier-ohl noch nicht völlig ausgemachten Gesetze proportionale te erregen.

21) In Beziehung auf den Strom aus einer Leidener Fla-st die vorliegende Frage durch eine lange Reihe schätz-Versuche sehr gründlich und vollständig beantwortet worden, s wird erlaubt seyn, aus den angegebenen Gründen die

Ann. de Chim. et Phys. T. LVI. p. 371. Poggendorff's Ann. 324.

S. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXI. p. 301.

hierdurch gefundenen Gesetze auch auf die andern Ströme an
zuwenden. Zuerst hat OHM[1] aus dem von ihm aufgefunde
nen Gesetze der elektrischen Strömungen einen allgemein
Ausdruck für das Gesetz des Erglühens der Rheophore abge
leitet. Unter der Voraussetzung, dafs die Intensität des Er
glühens eines in der elektrischen Kette befindlichen Leiters d
Intensität des ihn durchlaufenden Stromes direct proportion
ist, aufserdem aber durch die Natur dieses Leiters bedingt wir
erhält man

$$G = \frac{I}{x},$$

worin G die Stärke des Erglühns, I die Intensität des elektri
schen Stromes und x den Glühungscoefficienten ausdrück
welcher dem Leitungsvermögen, und sofern dieses das Er
glühn hindert, der Glühkraft umgekehrt proportional ist. I
kann aber

$$I = \frac{A}{(L + \Lambda)\omega}$$

gesetzt werden, wenn A die elektromotorische Kraft des Ap
parates, L den Leitungswiderstand des nicht erglühenden, Λ
aber den des erglühenden Theiles und ω den Querschnitt be
zeichnet. Wird dann endlich der Leitungswiderstand des e
glühenden Theiles $\Lambda = \frac{l}{k\omega}$ ausgedrückt, worin k das Le
tungsvermögen und l die Länge bezeichnet, so erhält m
durch Substitution die von OHM gegebene Formel

$$G = \frac{A}{\left(L\omega + \frac{l}{k}\right)x},$$

deren Coefficienten k und x, obgleich von einander abhängi
dennoch vielseitig bedingt, durch Versuche für die einzelne
Körper auszumitteln sind.

Insbesondere hat RIESS in mehreren gediegenen Abhand
lungen die Resultate seiner schätzbaren Versuche über die er
wärmende Kraft der Flaschenschläge bekannt gemacht. Zum
Messen der Temperatur bediente er sich eines *Luftthermo*

1 Kastner's Archiv. Th. XVI. S. I. Fechner's Repert. Th.
S. 466.

meters[1], welches dem von Harris[2] für ähnliche Zwecke angewandten ähnlich war; sofern aber dasselbe nach den jedesmaligen Zwecken verschieden modificirt werden kann, wird eine allgemeine Beschreibung genügen[3]. Eine fast 3 Z. weite Fig. 45.
Glaskugel war an zwei einander diametral gegenüberstehenden Stellen durchbohrt und mit messingnen Hülsen a a' versehn, um die jedesmal in Anwendung zu bringenden Drähte durch die Kugel zu führen, anzuspannen und die Kugel mittelst Hülsen wieder luftdicht zu verschließen. An einer dritten, mit den beiden genannten in einem größten Kreise liegenden, 90° von ihnen abstehenden Stelle war die Kugel gleichfalls durchbohrt und mit einer Fassung versehn, die durch einen genau eingeschliffenen Stöpsel b schnell verschlossen und geöffnet werden konnte. Unten endete die Kugel in eine mehrere Zoll lange, 0,45 Lin. weite Glasröhre, deren anderes Ende mit einem aufgebogenen weitern Gefäße c versehn war, um irgend eine, die Luft absperrende, Flüssigkeit hineinzubringen. Die Röhre nebst der Kugel ruht auf einem Brete mit einer Scale, um aus der Ausdehnung der Luft die erzeugte Wärme zu messen, wobei man die Vorrichtung so trifft, daß das Bret mit der Scale um einige Grade gegen den Horizont geneigt werden kann. Es versteht sich von selbst, daß die vermittelst dieses Apparates gefundenen Werthe gehörig corrigirt werden müssen, was in der Abhandlung genügend erörtert worden ist, da es hier nicht darauf ankommt, die erhaltenen Resultate richtig zu würdigen, so genügt es, nur die Hauptsachen anzugeben. Für die Erwärmung eines Platindrahtes, durch welchen ein Flaschenfunke geleitet wurde, ist wichtig zu bemerken, daß gar keine Erwärmung statt fand, wenn der Leitungsbogen durch einen kleinen Cylinder von feuchtem Holze unterbrochen wurde, im entgegengesetzten Falle aber war bei Drähten von gleicher Dicke die erzeugte Wärme dem Producte der Quantität in die Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional, bei Drähten von gleicher Länge und ungleicher

1 Beschrieben und durch Zeichnung versinnlicht in Dove's Repertorium der Physik. Th. II. S. 98. Fig. 8 u. 9. Vergl. Poggendorff's Ann. XLIII. 49.

2 Philos. Trans. 1834. p. 225.

3 Poggendorff's Ann. XL. 335 ff. Dove's Repertorium. Th. II.

Dicke aber verhielten sich die Temperaturerhöhungen bei gle
chen elektrischen Entladungen umgekehrt wie die Biquadra
ihrer Halbmesser oder waren den Querschnitten umgekeh
proportional. Durch eine zweite Reihe von Versuchen fa
Riess[1] vermittelst verschieden langer eingeschalteter Dräht
dafs die Erwärmung von der Länge der leitenden Drähte u
abhängig ist, woraus hervorgeht, dafs diejenige Veränderun
welche in irgend einem Elemente des Rheophors hervorgebrac
wird, in allen übrigen Elementen desselben gleichfalls st
findet. Die wesentlichste, durch diese Versuche aufgefundene ne
Thatsache ist, dafs die Erwärmung bedeutend geschwächt od
ganz aufgehoben wird, sobald irgend ein schlecht leitend
Körper den freien Durchgang des elektrischen Stromes hinde
Die in Anwendung gebrachten Nichtleiter waren eine Luf
schicht, ein oder zwei Kartenblätter und ein dünnes Glimme
blatt. Es läfst sich hierbei die Ursache nicht in einer ang
messenen Verminderung des elektrischen Stromes suchen, de
das Residuum der entladenen Flaschen war in allen Fäll
nach Schätzung gleich grofs, und dennoch hätte es, namen
lich bei Anwendung des Glimmerblättchens, noch die Häl
der ganzen Ladung betragen müssen, was der Beobachtu
nicht entgehn konnte. Durch eine dritte Reihe von Versuch
bestimmte Riess[2] die Verzögerungskraft und das Erwärmung
vermögen verschiedener Metalle, die des Platins als Einh
angenommen, und erhielt folgende Werthe:

---

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 47.
2 Ebendaselbst XLV. 1.

Metalle.	Verzögerungs-kraft.	Erwärmungs-vermögen.
Silber	0,1043	0,1267
Kupfer	0,1552	0,1133
Gold	0,1746	0,2112
Cadmium	0,4047	—
Messing	0,5602	0,3861
Palladium	0,8535	—
Eisen	0,8798	0,7080
Platin	1,0000	1,0000
Zinn	1,0530	1,5700
Nickel	1,1800	0,8727
Blei	1,5030	2,867
Neusilber	1,7520	—

e gesammten Versuche führten zu folgendem Hauptsatze: In
nd welchen mit einander verbundenen Metalldrähten, die
leich eine elektrische Batterie entladen, werden Wärme-
gen frei, die genau proportional den Verzögerungen sind,
che diese Drähte einzeln bei irgend einer elektrischen Ent-
ng verursachen würden. Das Ganze läfst sich dann durch
Formel ausdrücken:

$$W = \frac{a\,x\,l}{r^2}\left(\frac{1}{1+\frac{b\,x\,\lambda}{\varrho^2}}\right)\frac{q^2}{s},$$

n W die entwickelte Wärmemenge, l die Länge, r den
messer, x die Verzögerungskraft, λ die Länge und ϱ den
messer des ganzen Schliefsungsbogens, s die Gröfse der
ie und q die in ihr enthaltene Elektricitätsmenge, a und
r Constanten bezeichnen, indem a von der Beschaffenheit
Metalles im untersuchten Schliefsungsbogen, b aber von
Beschaffenheit des Metalles im hinzugesetzten Drahte ab-
1.

22) Nehmen wir alle diese Erfahrungen zusammen, zu
noch die von De la Rive[2] namentlich über die Wär-

Ueber diese Versuche ist noch zu vergleichen Vorsselman de in Poggendorff's Ann. XLVIII. 292 und die Bemerkungen von hierüber ebend. S. 320.

Biblioth. universelle. T. XL. p. 40. Poggendorff's Ann. XV. 257.

meerzeugungen in Flüssigkeiten zusammengestellten komm könnten, so ergiebt sich, dafs alle elektrische Ströme Wär erregen, deren Menge der in gegebener Zeit durch den Que schnitt eines Leiters strömenden Quantität und dem Raur proportional ist, welchen diese Masse einnimmt, zugleich ab vermehrt wird durch die Verzögerungskraft der Rheophormas: Ist die Masse des elektrischen Stromes zu gering und zu we nig zusammengedrängt, mag dieses von der spärlichen Ergi bigkeit der Elektricitätsquelle oder der zu grofsen Ausbreitu über dem als ihr Reservoir dienenden Behälter oder dem zu gr fsen Querschnitte des Rheophors oder endlich von der zu se gestörten Geschwindigkeit der Strömung herrühren, so vermi dert sich die erregte Wärmemenge zunehmend so sehr, d sie zuletzt gar nicht mehr wahrgenommen wird. Hierin li ohne Zweifel die Ursache, dafs die englischen Experimentat ren in Gemäfsheit ihrer Versuche mit KINNERSLEY's Luftth mometer den Satz aufstellten, bei vollständiger Leitung d Elektricität werde gar keine Wärme frei, was jedoch nur n der angegebenen Beschränkung gültig ist. Hieraus lassen sich fü lich einige längst bekannte Erscheinungen erklären, namentli die Entzündung des Zündschwammes und des Schiefspulv durch Verzögerung des Stromes. Nähert man namentlich d feinen Fasern des Zündschwammes, so ist die Masse der a dem Knopfe der Flasche, vorzüglich einer grofsen Batter ausströmenden und in einen kleinen Raum zusammengedrän ten Elektricität sehr bedeutend, und die Entzündung tritt s fort ein, erfolgt auch in der Regel um so sicherer, je schne ler man den Schwamm nähert. Beim Durchgange des Fl schenschlages durch Schiefspulver finde ich es wahrscheinlic dafs der elektrische Strom überhaupt nicht durch die neben ei ander gelagerten Körner fliefst, sondern durch die Luft, i dem die positive der negativen und umgekehrt auf die kürz ste und schnellste Weise zu begegnen sucht; entzündet m aber Schiefspulver durch den Strom einer Volta'schen Batteri dann erfolgt dieses nach meiner Ansicht in der Regel nur dur das Verbrennen des Metalls, weil die Kohle des Schiefspulve als schlechter Leiter den Strom nur schwer durchläfst. All dieses steht in ziemlich genauem Zusammenhange mit den R sultaten der neuesten, durch EDMUND BECQUEREL[1] angestellt

1 Aus Compt. rend. T. VIII. p. 334 in Poggendorff's Ann. XLIX. 57

Versuche. Hiernach bringt der elektrische Flaschenfunke, selbst wenn er in 2 Millim. Abstand vor einer thermoelektrischen Säule überspringt, ebenso wie ein fortdauernder elektrischer Strom keine thermischen Wirkungen hervor, vermuthlich weil der Vorübergang zu schnell erfolgt, als dafs eine Wärmestrahlung entstehn könnte.

223) Die Summe der Erfahrungen über Wärmeerzeugung durch Elektricität wurde kürzlich durch einen höchst interessanten Beitrag vermehrt, welcher jedoch keineswegs geeignet ist, die Erklärung aller dieser Phänomene zu erleichtern. PELTIER[1] fand nämlich, dafs der hydroelektrische Strom bei einem Durchgange durch die Löthstelle zweier Metalle je nach einer Richtung nicht blofs ungleiche Wärme, sondern sogar noch Kälte erzeugt. Der Satz, allgemein ausgedrückt, heifst[2]: *wenn der positive Strom vom besseren Leiter zum schlechteren übergeht, so wird die Löthstelle erwärmt, im entgegengesetzten Falle wird sie weniger warm oder gar kalt;* die Löthstelle hat hiernach also eine andere Temperatur, als die übrigen Theile des Rheophors[3]. Auffallend zeigt sich dieses namentlich bei den Verbindungen von Kupfer mit Antimon oder Wismuth, am auffallendsten aber bei einer Verbindung der beiden letztern Metalle, woraus man ersieht, dafs die zu thermoelektrischen Säulen geeignetsten Metalle auch hierbei die stärkste Wirkung zeigen. PELTIER machte seine ersten Versuche mit einem sehr complicirten Apparate, dann mit zwei Verbindungen von Antimon und Wismuth, die er kreuzweise zur Berührung ihrer Löthstellen über einander legte und wobei

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LVI. p. 371. Poggendorff's Ann. II. 371.

2 Die scharfe Bestimmung dieses merkwürdigen Gesetzes verdanken wir den sogleich zu erwähnenden Versuchen von MOSER und ...

3 Dafs die Richtung des elektrischen Stromes auf die Wärmeerzeugung einen bedeutenden Einflufs habe, ist aus einem andern Phänomen ersichtlich. Legt man eine Scheibe Phosphor auf eine mit dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine liegende Metallplatte, und nähert man ihr eine mit der Hand gehaltene kleine Messingkugel an einer Metallstange, so wird der durch den Phosphor fahrende Funke letzteren nicht entzünden, wohl aber geschieht dieses augenblicklich, wenn man die Scheibe Phosphor an die genäherte Kugel klebt.

die eine Verbindung in die Kette des elektrischen Stromes eingeschaltet wurde, während die andere als thermoelektrische Kette diente. Mit einem ähnlichen Apparate wiederholte MOSER[1] die Versuche und fand die Resultate bestätigt. Weiter bediente sich PELTIER eines Luftthermometers, durch dessen Kugel die durch Löthung verbundene Stange Antimon und Wismuth gezogen war. Die Anwendbarkeit des letzteren Apparates verwirft LENZ mit Recht deswegen, weil die eine Stange leicht so stark erhitzt wird, dafs die erzeugte Wärme die Erkaltung der Löthstelle überwindet und man ein entgegengesetztes Resultat erhält. Inzwischen hat der Apparat den grofsen Vorzug der Bequemlichkeit und Empfindlichkeit und kann daher jetzt, nachdem die Thatsache aufser Zweifel gesetzt worden ist, mit Nutzen angewandt werden. Nach der von mir gewählten Construction läfst man an eine ungefähr 0,3 Lin. weite Glasröhre AB eine Kugel von etwa 1 Zoll Weite mit zwei einander gegenüber stehenden kurzen Hälsen w blasen, zieht die an einander gelötheten Stängelchen Antimon und Wismuth von etwa 1 Lin. Dicke durch die beiden kleinen Hälse, und verkittet sie luftdicht so, dafs die Löthstelle sich in der Mitte befindet. Die aufwärts gebogene Glasröhre befestigt man auf einem verticalen Bretchen mit einer Scale, die auf einem geeigneten Fufsgestelle ruht. Beim Gebrauche erwärmt man die Kugel etwas mit der Hand und bringt einen Tropfen Weingeist auf das obere Ende der Röhre, welcher beim Abkühlen ungefähr bis in die Mitte der Röhre herabsinkt und dann entweder steigt oder fällt, jenachdem man den Draht des positiven Poles mit dem einen oder dem andern der aus den Hälschen hervorragenden Metallenden in Berührung bringt, während der andere Draht das entgegenstehende Ende berührt. Mit diesem Apparate kann man die Thatsache auch bei der Anwendung schwächerer Säulen im Allgemeinen bestätigt finden, und es gewährt sogar eine interessante Erscheinung, wenn man bei ziemlich schnellem Wechsel der Berührung mit den Polardrähten das Thermometer steigen und fallen sieht[2].

Fig. 46.

1 DOVE's Repertorium. Th. I. S. 349.

2 Einst wandte ich eine so starke Säule an, dafs das Wismuthende jederzeit bei der Berührung mit dem Schliefsungsdrahte an der Berührungsstelle schmolz, und dennoch blieb der Erfolg für eine

Allerdings mufs man gestehn, dafs Lenz[1] das Problem bedeutend weiter gefördert hat. Zuerst wiederholte er den Versuch mit den kreuzweise auf einander liegenden, zusammengelötheten Wismuth- und Antimonstangen, und gewahrte eine entgegengesetzte Bewegung der Magnetnadel bei umgekehrter Richtung des galvanischen Stromes; demnächst zeigte ein feines, an die Löthstelle der Wismuth- und Antimonstange gehaltenes Thermometer bei der einen Richtung eine Temperaturverminderung von 0°,88, bei der entgegengesetzten eine Erhöhung von 4°,12 C., endlich aber liefs derselbe Stangen von Wismuth und Antimon von 4,5 Z. Länge und 0,4 Z. Querschnitt an einander löthen, bohrte in die Löthstelle ein kleines Loch, senkte in dieses die Kugel eines feinen Thermometers und füllte den übrigen Raum mit Eisenfeilicht. Ward dieser Apparat in den Strom einer einfachen Volta'schen Kette aus Platin und Zink von 1 Quadratfufs Fläche gebracht, so sank das Thermometer, wenn der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, um fast 3°,75 C., fing aber nach einiger Zeit wieder an zu steigen, was augenscheinlich von der Erhitzung der Wismuthstange herrührte, die dem Gefühle nach bedeutend erwärmt war, während die Antimonstange in Folge ihres besseren Leitungsvermögens sich kalt zeigte; ging der Strom dagegen umgekehrt vom Antimon zum Wismuth, so stieg das Thermometer 45° C. Noch auffallender aber war folgender Versuch. Lenz füllte das Loch in der Löthstelle mit Wasser, und legte die zusammengelöthete Stange auf schmelzenden Schnee, womit zugleich die beiden Enden bedeckt waren. Hierdurch ging sowohl die Stange, als auch das Wasser in dem Loche auf 0° herab, und letzteres zeigte auch diese Temperatur 10 Minuten lang an einem Thermometer. Als darauf der Strom vom Wismuth zum Antimon die Stange durchlief, gefror das Wasser nach 5 Minuten vollständig; auch zeigte das Thermometer bei wiederholten Versuchen in diesem Wasser – 4°,38 C., und dieses ist also die erste Eisbildung durch Galvanismus.

...te Zeit nicht aus, indem das Thermometer der Bedingung gemäfs ...s fiel oder rascher stieg.

1 Aus Bulletin scient. de Petersb. in Poggendorff's Ann. XLIV.

224) Dafs dieses merkwürdige Verhalten eine Folge der Leitungsfähigkeit der hierbei in Anwendung gebrachten Metall sey, unterliegt keinem Zweifel, sofern keine andere denkbar Ursache aufzufinden ist; allein es versteht sich von selbst, daſ hiermit das Phänomen noch keineswegs als erklärt zu betrachten sey. Um aber auch in dieser Beziehung einen bessern Anhaltpunct zu haben, verdanken wir den Versuchen von Lenz zugleich eine nähere Bestimmung des elektrischen Leitungsvermögens beider Metalle. Nach der früher von diesem Gelehrten angewandten Methode fand derselbe, die Leitungsfähigkeit de Kupfers zu 100 angenommen,

für	Quecksilber . . .	4,66
—	Antimon	8,87
—	Wismuth	2,58

Wurden beide zusammengelöthete Metalle als Einheit in di Kette eingeschaltet, so war der Leitungswiderstand nur unmerklich verschieden, der Strom mochte die eine oder die entgegengesetzte Richtung haben.

225) Handelt es sich darum, diese Erscheinungen mit de Wärmetheorie in Einklang zu bringen, so zweifle ich in de That, ob es möglich seyn wird, eine genügend sichere un hinlänglich gegen jeden Einwand begründete Erklärung aufzufinden, was wohl davon herrührt, dafs wir das eigentliche Wesen der Elektricität und namentlich das eigenthümliche Verhalten ihrer Durchströmung der Rheophore, ungeachtet der zahllosen bekannten Thatsachen, immer noch nicht genügend kennen. Statt aber diese Schwierigkeiten unberührt zu übergehn, wird es doch rathsamer seyn, die bisher gemachten Versuche einer Erklärung zu erwähnen und diejenigen Hypothesen anzuführen, die sich den meisten Thatsachen am leichtesten anfügen lassen.

Zuvörderst darf nicht übergangen werden, dafs Riess[1] die Materialität der Elektricität deswegen bezweifelt, weil sie ihre erwärmende Kraft in jedem Elemente der durchströmten Drähte äufsert; allein mir scheint dieses Argument ganz unzulässig, weil jeder materielle Körper die ihm eigenthümlich zukommende Wirkung an jedem Orte äufsert, wo er sich befindet,

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 62.

und daher auch die Elektricität an jeder Stelle des von ihr durchströmten Rheophors die ihr eigenthümlichen Wirkungen, Erregung von Wärme und Magnetismus, äufsern mufs, ebenso wie z. B. die eine Röhre durchströmende comprimirte Luft gegen jedes gleich grofse Element der Röhrenwandung einen gleich starken Druck ausübt. Dem erwähnten Argumente gerade entgegengesetzt war eine frühere Ansicht von De la Rive[1], wonach er die Wärmeerzeugung durch Elektricität derjenigen analog betrachtete, welche entsteht, wenn ein Gas in Folge eines starken Druckes durch eine enge Röhre geprefst wird, weil er die Elektricität für ein den Gasen ähnliches Fluidum zu halten geneigt war, eine Ansicht, die ihm später allzugewichtigen Einwürfen ausgesetzt zu seyn schien, als dafs er sie nicht aufgeben sollte. Berthollet[2] war anfangs geneigt, das elektrische Fluidum für Wärme selbst zu halten, wollte aber, ehe er sich hierfür entschied, noch einige Versuche anstellen, was denn auch unter Mitwirkung von Gay-Lussac mit den trefflichen Apparaten des Professors Charles geschah und zu eigen allerdings beachtenswerthen Resultaten führte. Dahin gehört die Bemerkung, dafs der zum Glühen gebrachte Platinraht schneller erkalten soll, als wenn er anderweitig bis zu leicher Temperatur erhitzt war, eine Thatsache, die mir im llgemeinen noch zu wenig begründet zu seyn scheint, als dafs e bei der Erklärung des Phänomens vorzugsweise Berücksichtigung verdiente. Wichtiger ist, dafs der Flaschenschlag, enn er zu schwach ist, den Zusammenhang aller Theile des rahtes zu trennen, einige Theilchen von seiner Oberfläche löst, die als Rauch aufsteigen[3], wogegen ein stärkerer Schlag n in lauter Fäserchen zerreifst. Ueberhaupt scheinen ihm ese Wirkungen des elektrischen Stromes nicht sowohl auf ner Temperaturerhöhung, wie durch gewöhnliche Erwärmung, ndern auf einer Art Compression oder auf einem Einflusse f den Zusammenhang der Körperelemente zu beruhen, denn enn derselbe durch gasförmige Körper geht, so findet nur ne momentane Ausdehnung derselben, nicht wie durch

1 Mém. de la Soc. de Phys. et d'hist. nat. de Génève. T. III. l. p. 123.

2 Aus Essay de Stat. chim. in G. XX. 394.

3 Diese Erfahrung ist wohl ziemlich allgemein bekannt.

Wärme, statt, und als die holländischen Physiker ihn durc einen Bleidraht in einem Gefäfse voll Stickgas leiteten, zerstiebte der Draht in metallisches Pulver, statt dafs er durc Hitze in Kugeln geschmolzen seyn würde. BERTHOLLET unterscheidet daher sehr richtig die Wirkungen der Elektricitä an sich von denen der Oxydation (des Verbrennens) un glaubt, dafs die ersteren sich blofs auf Verminderung ode Vernichtung der Cohäsionskraft, auf Trennung und Zerstreuung der kleinsten Theilchen beziehn, wodurch dann zugleic die Oxydation eingeleitet und befördert wird.

226) Die durch BERZELIUS aufgestellte, bereits mehrmal (§. 29) erwähnte Hypothese hat wegen der grofsen Celebritä dieses berühmten Gelehrten viele Anhänger gefunden. Hiernach ist die Wärme gar kein einfaches Wesen, sonder eine Zusammensetzung aus positiver und negativer Elektricität Diese Hypothese, die keiner weitern Erläuterung bedarf un sich schon durch ihre Einfachheit empfiehlt, erklärt leich manche Entzündungen, als des Phosphors, Aethers u. s. w. wenn man annimmt, dafs in diesen Körpern beide Elektricitäten sich vereinigen und in Wärme verwandeln; scheinba leicht soll sie auch das Erglühen der Metalldrähte erklären, allein bei näherer Untersuchung ergiebt sich evident, dafs nich blofs in Beziehung auf dieses letztere, sondern auch im Allgemeinen unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehn. Zuvörderst geht aus zahllosen Versuchen augenfällig hervor, dafs alle elektrische Erscheinungen blofs auf einer Trennung ode Verbindung beider Elektricitäten zu einem neutralen 0E. bestehn, ein Satz, welcher unter besonderer Modification soga die Basis sowohl der Franklin'schen als auch der Symmer'schen Theorie bildete und daher von allen Physikern, auch von BERZELIUS selbst, als gültig anerkannt wird. Nach der Hypothese des Letztern müfste aber bei jeder Elektricitätserregung, bei jeder Trennung beider Elektricitäten aus dem 0E. = Wärme auf gleiche Weise Kälte entstehn, als durch die Verbindung beider zu 0E. Wärme erregt wird. Durch das Reiben der Glasscheibe einer Elektrisirmaschine und durch die Volta'sche Säule müfste daher Kälte erzeugt werden, statt dafs bedeutende Wärme zum Vorschein kommt. Man beseitigt zwar diese Einwürfe durch die Annahme, dafs das Reiben der Glasscheibe durch sich selbst Wärme, die Trennung der

Elektricitäten Kälte erzeugt, wobei aber erstere in solcher Menge vorhanden seyn soll, daſs ein Theil derselben vorherrschend bleibt. Bei der Säule leidet dieses keine Anwendung, doch könnte man sagen, auch in dieser sey die durch chemische Wirkung erzeugte Hitze im Uebermaſs vorhanden. Diese letztere Hypothese ist ohne Widerrede unwahrscheinlicher, als die erstere; auf jeden Fall ist es aber schlimm, eine auf wenige Thatsachen gegründete Hypothese bei ihrer Anwendung auf andere Phänomene stets durch neue, gleichfalls unbegründete Hypothesen unterstützen zu müssen, und also, nach einer sehr wahren Aeuſserung von Gauss, ein Verfahren in Anwendung zu bringen, ähnlich dem älteren, als man zur Erklärung der Bahnen der Himmelskörper stets neue Epicyklen hinzufügte. Wenn man im bekannten Versuche von Biot einen geladenen isolirten Conductor einem anderen isolirten ohne Berührung nähert und das 0 E. des letzteren durch Induction trennt, so müſste hierdurch Kälte entstehn, bei der Entfernung des ersten aber Wärme. Beides ist zwar noch nicht durch Versuche ausgemittelt, auf jeden Fall aber höchst unwahrscheinlich. Es bedarf indeſs keiner Anhäufung vieler Argumente, da ein unwiderlegliches entgegensteht. Wenn ein langer Draht erglüht, so müſste zur Wärmeerzeugung eine Verbindung beider Elektricitäten in allen Querschnitten des Drahtes statt finden, was jedoch unmöglich ist. Beide Elektricitäten durchströmen denselben in Gemäſsheit der doppelten Durchbohrung eines Stanniolblättchens nach Moll in entgegengesetzter Richtung, und schon dieser Versuch zeigt deutlich, was sich jedoch von selbst versteht, daſs sich beide in entgegengesetzter Richtung strömende Elektricitäten unterwegs nicht verbinden, vielmehr geschieht bei der Batterie die Vereinigung erst bei beiden Belegungen, deren jede die der ihrigen entgegengesetzte aufnimmt und dadurch in den Zustand von 0 E. versetzt wird, bei der einfachen Volta'schen Kette aber nimmt das Zink die positive Elektricität des Kupfers und letzteres die negative des Zinks auf, der Reophor dient bloſs als Vehikel der Strömung, eine Verbindung beider Elektricitäten kann in ihm nicht statt finden, denn die zu 0 verbundene Elektricität strömt nicht, schon deswegen, weil sie sonst nach beiden Seiten zugleich strömen müſste, was an sich unmöglich ist. Ein Erglühen des Rheophors wäre also hiernach nicht möglich, am wenigsten ein

fortdauerndes, wollten wir nicht mit der Erklärung der gesammten elektrischen Erscheinungen in Widerspruch kommen.

227) Die Geschwindigkeit, womit die Elektricität vollkommene Leiter durchströmt, und die aufserordentliche mechanische Gewalt, die sie ausübt, führten leicht zu der Erklärung, dafs die Wärme durch dieselbe auf gleiche Weise, als durch Compression, erzeugt werde, allein De la Rive[1] bemerkt mit Recht, dafs dieses wohl auf den momentan wirkenden Flaschenschlag, nicht aber auf den Strom der Volta'schen Säule anwendbar sey, welcher fortdauernd Glühhitze erzeuge. Diese Bemerkung ist zwar unbezweifelt richtig, es darf jedoch zugleich nicht übersehn werden, dafs auch die Reibung fortdauernd Wärme erzeugt, wodurch jedoch, wie an sich klar, das Phänomen selbst keineswegs erklärt ist. Ebendieses ist der Fall, wenn man die Wärmeerzeugung der Elektricität aus ihrer chemischen Wirksamkeit ableiten wollte. Es ergiebt sich also, dafs die Bemühungen der Physiker, dieses interessante, aber auch höchst schwierige Problem zu lösen, bisher vergeblich waren, und daher kann dieses auch hier nicht geradezu beabsichtigt werden, wie wichtig auch eine solche Lösung für die Wärmetheorie überhaupt seyn mag. Dessenungeachtet werden einige allgemeine Bemerkungen hier nicht am unrechten Orte seyn.

α) Es ist eine bekannte Sache, dafs Metalldrähte durch den Batteriefunken eine merkliche Veränderung ihres Volumens erleiden[2]. Van Marum sah, dafs ein 18 Z. langer Eisendraht durch einen einzigen Flaschenschlag um mehr als 0,25 Z. verkürzt wurde, und ähnliche Resultate erhielt Nairne, woraus also folgt, dafs das stabile Gleichgewicht der Molecüle durch den elektrischen Strom bedeutend afficirt wird.

β) Man hat noch nicht genügend die Frage erörtert, welche Rolle der Leitungsdraht beim Strömen der Elektricität spielt. Für statische Elektricität ist aus früheren Erfahrungen bekannt, neuerdings aber durch Faraday's Versuche erwiesen worden, dafs die Trennung beider Elektricitäten blofs auf der Oberfläche der Conductoren statt findet, bei der dynamischen Elektricität kann dieses jedoch nicht der Fall seyn, vielmehr geht aus

1 Poggendorff's Ann. XV. 258.

2 Baumner's Lehrbuch der Experimentalphysik. Th. II. S. 266.

allen Erscheinungen, namentlich aus der so eben erwähnten Volumensänderung der Rheophore evident hervor, daſs die Elektricität durch die ganze Masse der Leiter strömt.

γ) Auch hierbei könnten die Leiter der Elektricität insofern passiv seyn, daſs ihre eigene 0 Elektricität nicht getrennt würde, sondern beide Elektricitäten in ihnen in entgegengesetzter Richtung strömten, sie könnten aber auch insofern activ seyn, als ihre eigene 0 Elektricität durch den Elektrometer getrennt würde; in beiden Fällen würden die elektrischen Ströme in ihnen die bekannten Veränderungen hervorbringen können. Ohne im mindesten hierüber entscheiden zu wollen, da bis jetzt keine genügend bestimmende Erfahrung vorhanden ist, bin ich geneigt, der letztern Ansicht beizutreten, indem die neuesten Inductionsapparate (die durch Neef sogenannten magnetoelektrischen Rollen) dieselben mindestens wahrscheinlich machen, wonach der elektrische Strom, welcher einen vollkommenen Leiter durchströmt, in einem ihm isolirt genäherten gleichfalls eine elektrische Strömung erregt.

δ) Es scheint mir ein allgemein gültiges Naturgesetz zu seyn, daſs alle Flüssigkeiten, sobald sie bei ihrer Bewegung Hindernisse zu überwinden haben, in Undulationen versetzt werden, die dann mehr oder minder deutlich wahrnehmbar sind. Beispielsweise möge hier nur erwähnt werden, daſs auch die Luftmassen im Sturme deutlich diesen wellenartigen Charakter zeigen. Hiernach wären also auch die elektrischen Ströme nicht als ein stilles Fortflieſsen, sondern als ein wellenartiges Fortschreiten zu betrachten, womit dann auch die Geschwindigkeit ihrer Bewegung bei unleugbar vorhandenem Widerstande besser vereinbar seyn würde.

Wir müssen uns hiernach, um die Naturgesetze mehr zu vereinfachen, folgende Vorstellung machen. Wenn die innere Belegung einer geladenen Flasche oder die Kupferscheibe der einfachen Volta'schen Kette mit einem Metalldrahte in Berührung kommt, so wird die aufgehäufte positive Elektricität die negative im nächsten Elemente des Drahtes trennen, die aber ihre eigene positive Elektricität nicht loslassen würde, wenn diese nicht gleichzeitig durch die negative der äuſsern Belegung hierzu bewogen würde. Die trennende Kraft schreitet dann durch die ganze Drahtlänge vermittelst der jedes Element treffenden Einwirkung unglaublich schnell fort, die wirkliche

Trennung findet aber erst dann statt, wenn alle einzelne Thei des Rheophors und beide Belegungen der Flasche mit einand in Conflict gekommen sind. Mit den nöthigen Modification gilt dieses von beiden Polen der Volta'schen Säule und de sie verbindenden Drahte. Man könnte dann annehmen, da die mechanische Gewalt einer so unglaublich schnellen Str mung die Wärme durch Compression auspreſste; es dürfte ab angemessener seyn zu einer Art chemischer Einwirkung sei Zuflucht zu nehmen. Allerdings scheint der Umstand, daſs d Erhitzung mit zunehmendem Widerstande wächst, auf ei mechanische Wirkung zu deuten, allein man muſs auch b rücksichtigen, daſs chemische Actionen gleichfalls eine gewi Zeitdauer erfordern, weil eine so schnelle Strömung denkl wäre, daſs gar kein Einfluſs auf die Molecüle der Körp statt finden könnte. Als Axiom darf zugleich der Satz v stabilen Gleichgewichte durch den Conflict der attractiven u repulsiven Kräfte auf die Molecüle der Körper angenomm werden, wobei dann die Wärme entweder mit der Repulsi kraft identisch oder doch innigst damit verbunden ist. We man hiernach berücksichtigt, welchen Einfluſs die Elektrici auf die Molecüle der durchströmten Körper ausübt, sofern das Volumen der Körper verändert, wie sie ferner im Allg meinen so kräftig chemisch wirkt, so gewinnt sehr leicht d Vorstellung einen nicht unbedeutenden Grad der Wahrschei lichkeit, daſs durch diese beiden Wirkungen der getrennt Elektricitäten das stabile Gleichgewicht der Körper aufgehob und Wärme auf gleiche Weise, als durch die Wirkung ch mischer Kräfte bei den Verpuffungen, momentan frei wird.

Peltier's Entdeckung scheint auf den ersten Blick je Erklärung der Wärmeerzeugung durch Elektricität unmögli zu machen, inzwischen dürfte folgende Hypothese doch ein gen Schein der Möglichkeit gewähren. Die positive Elektric tät hat nach vielen Indicien einen höhern Grad der Spannun als die negative; man könnte ihr daher verhältniſsmäſsig krä tigere Wellen beilegen, ohne daſs diese dennoch im Ganz den negativen vorauseilen, weswegen auch die Leitungsfähigke einer Verbindung von Wismuth und Antimon für jede Rich tung der elektrischen Ströme gleich ist, denn beide werde durch das Gesammtverhalten der Elektromotoren und der Rheo phore bedingt. Wenn daher die kräftigeren positiven Welle

aus einem schlechteren Leiter in einen viel besseren übergehn, so kommen sie zu einer momentanen Ruhe, einem momentanen Fortgleiten durch eine kurze Strecke; ihre Wirkung hört auf, die Wärme wird gebunden und es tritt nur dicht an der Löthstelle Kälte ein. Uebrigens verdiente noch untersucht zu werden, ob auch dann Kälte eintritt, wenn die beiden Metalle nicht zusammengelöthet, sondern blofs in genauer Berührung sind, weil in dem Falle, dafs dann die so höchst auffallende Wirkung wegfiele, auch der Einflufs des zum Löthen dienenden Metalles bei der Erklärung berücksichtigt werden müfste.

E. Verhalten der Wärme.

Die sämmtlichen Erscheinungen, welche in diesem Abschnitte zur Untersuchung kommen, pflegte man früher unter *Wärmeleitung* zusammenzufassen, allein es zeigten sich dann so auffallende Widersprüche in den Phänomenen, dafs es nicht möglich wurde, sie zu einigen, noch viel weniger, sie auf bestimmte Gesetze zurückzuführen. So zeigten sich z. B. Körper, denen man auf der einen Seite ein starkes Wärmeleitungsvermögen zuschrieb, weil sie schnell erkalteten, von der andern als schlechte Leiter, weil sie die Wärme nur wenig durch sich hindurchliefsen. Im Allgemeinen kommt hier das Verhalten der Wärme insofern in Betrachtung, als es sich fragt, nach welchen Gesetzen sie einen Körper verläfst und von einem andern aufgenommen wird, in einigen Körpern sich schnell, in andern langsam ausbreitet, endlich wie sie in den verschiedenen Körpern eine mehr oder weniger hohe Temperatur erzeugt oder gänzlich verschwindet, ohne eine Temperaturerhöhung zu bewirken, obgleich sie durch anderweitige Modificationen der Körper in unverminderter Menge wieder zum Vorschein kommt. Werden alle diese Erscheinungen gehörig gesondert, so lassen sich nicht blofs die einzelnen füglich unter allgemeine Gesetze bringen, sondern sie fügen sich auch insgesammt ohne Schwierigkeit dem bereits aufgestellten allgemeinen Erklärungsprincipe, ohne dafs innere Widersprüche zurückbleiben, wie der Verfolg der Untersuchungen ergeben wird.

1) Wärmestrahlung.

228) Unter Wärmestrahlung verstehn die Physiker mei stens ein bereits oben erwähntes Verhalten der Wärme, wo nach dieselbe, wenn sie am Tage mit den Lichtstrahlen vo der Sonne auf der Erde angelangt ist, schon bei Tage, noc mehr aber bei Nacht, dem leeren Himmelsraume wieder zuei len soll[1]. Gegen diese Hypothese, wie allgemein dieselbe auc von den berühmtesten Physikern angenommen und vertheidi wird, habe ich mich aus mir unwiderleglich scheinenden Grün den erklärt, zu denen bei der Untersuchung der Wärmepola risation noch andere gewichtige hinzukommen werden. Den noch aber stelle ich eine Wärmestrahlung keineswegs in Ab rede, wie auch schon nothwendig aus der Annahme von Wär mewellen folgt, jedoch in einem andern Sinne, als dem ebe bezeichneten. Wärmestrahlung findet nämlich allezeit stat wenn die Wärme irgend einer Wärmequelle durch den leer Raum oder beliebige expansibele und tropfbare Flüssigkeit und selbst feste Körper nach dem Grade ihrer Diatherman oder in andere feste oder flüssige Körper übergeht oder auc sich anscheinend blofs zerstreuet, falls ein sie aufnehmend Körper zu entfernt seyn sollte. Wir wollen zuerst die vor züglichsten Thatsachen beleuchten, wobei es jedoch schwer i die eigentliche Strahlung von der Durchleitung zu trennen, ob gleich beide Erscheinungen von den bessern Experimentator zugleich berücksichtigt zu werden pflegen.

α) Strahlung im Allgemeinen.

229) Der Erste, welcher die Aufmerksamkeit der Physik auf das Phänomen der Strahlung lenkte, war wohl Mariotti

1 Es scheint mir überflüssig, aufser den oben §. 79 ff. bere erwähnten Autoritäten noch die übrigen vollständig aufzuzählen; da es wird stets nur das Stattfinden eines Erkaltens bezeugt und die hypothetisch von der Strahlung abgeleitet, ohne deren wirkliche E stenz nachzuweisen. Vorzugsweise gelten in dieser Beziehung We über den Thau, s. Art. *Thau*, Bd. IX. S. 686. Arago in Annua 1828. Boussingault in Ann. de Chim. et Phys. T. LII. p. 260. Po gendorff's Ann. XXXI. 600 und viele Andere.

2 Mém. de l'Acad. 1682. Die noch älteren Versuche der Mitgli

indem er fand, dafs die Strahlen eines Feuers in einem Hohlspiegel gesammelt auf die im Focus gehaltene Hand brennend einwirkten, was jedoch nicht statt fand, wenn sie durch eine Glastafel aufgehalten wurden. Diese Versuche mit Spiegeln wurden von Du Fay[1] und Cassini[2] wiederholt. Lambert[3] aber unterschied mit seinem gewohnten Scharfsinn sogleich die Wirkungen des Lichts von denen der Wärme, indem er die Strahlen eines hell brennenden Feuers mit einer Glaslinse auffing, aber wenig Wärme im Focus derselben an seiner Hand empfand, wogegen es ihm gelang, durch die Hitze glühender Kohlen vermittelst zweier Brennspiegel leicht entzündliche Körper auf eine Entfernung von mehr als 24 Fufs in Brand zu setzen. Am interessantesten und belehrendsten sind die Versuche von Scheele[4], welcher zuerst den Namen *strahlende Wärme* einführte und nachwies, dafs die Wärmestrahlen nicht durch den Luftzug abgelenkt werden, durch starke Bewegung der Luft an Intensität nicht verlieren und die Luft selbst nicht erwärmen. Fing er die Strahlen eines Feuers durch eine Glasscheibe auf, so drangen die der Wärme nicht durch, wohl aber die des Lichtes, die sich auch nachher vermittelst einer Linse concentriren liefsen. Hiernach stellte er den Satz auf, dafs ein Glasspiegel zwar die Lichtstrahlen reflectire, nicht aber die Wärmestrahlen, eine polirte Metallfläche aber beide. Hielt er daher einen metallenen Hohlspiegel dem Feuer entgegen, so wurde dieser selbst nicht heifs und konnte fortdauernd ohne Nachtheil in der Hand gehalten werden, war aber die Oberfläche desselben geschwärzt, so nahm seine Hitze schon in vier Minuten so sehr zu, dafs man ihn nicht mehr mit der Hand halten konnte. Diese wichtigen Versuche, an die sich die minder bedeutenden von King[5] anreihen lassen, erregten weit weniger Aufmerksamkeit, als sie eigentlich verdienten; mehr aber war dieses der Fall bei den allerdings ausgedehnteren,

---

der Akademie del Cimento, welche auszumitteln suchten, ob Kältestrahlen vom Eise ebenso als Wärme- und Lichtstrahlen von Metallspiegeln zurückgeworfen würden, scheinen wenig oder gar nicht beachtet worden zu seyn. S. Saggi di naturali esperienze. a cart. 176.

1 Mém. de l'Acad. 1726.

2 Ebendaselbst 1747. p. 25.

3 Pyrometrie. S. 210. §. 378.

4 Versuche über Luft und Feuer. S. 60.

5 Morsels of Criticism. Lond. 1788. 4. p. 1.

welche Pictet[1] theils allein, theils mit de Saussure veranstaltete. Er stellte zwei Spiegel von polirtem Zinn, einen Fuſs im Durchmesser haltend, deren Brennweite 4,5 Z. betrug, in 12 F. Abstand von einander, brachte in den Focus des einen die Kugel eines empfindlichen Thermometers, in den des andern eine eiserne Kugel von 2 Zoll Durchmesser, die anfangs rothglühend war, nachher sich aber so weit abkühlte, daſs sie aufhörte am Tage sichtbar zu glühn. Ein zweites Thermometer wurde so aufgehangen, daſs es sich in gleichem Abstande von der Kugel befand, als das erste, aber nicht im Focus des Brennspiegels. In 6 Minuten, nachdem die Kugel an ihren Ort gebracht war, stieg das erste Thermometer auf 13°,12, das zweite aber bloſs auf 3°,12 C., woraus also hervorging, daſs die Strahlen der Wärme, gleich denen des Lichts, vom Spiegel reflectirt wer denmuſsten. Bei einer Wiederholung des Versuches als statt der Kugel eine Kerzenflamme genommen wurde, stieg das erste Thermometer gleichfalls um fast 12° C. Wie früher Scheele, wollte auch Pictet die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen trennen, und als das Thermometer durch eine Kerze im Focus von 2°,5 bis 16° C. gestiegen war, hielt er eine Glasscheibe zwischen die beiden Spiegel, wodurch das Thermometer sogleich bis 7°,12 herabging, nach Wegnahme derselben aber wieder zur vorigen Höhe stieg. Daſs das Thermometer nach Einbringung der Glasscheibe nicht ganz wieder zu seinem anfänglichen Stande herabging, betrachtete er als eine Folge einiger das Glas durchdringender Wärmestrahlen und der früher aufgenommenen Wärme, die wieder gegen den Spiegel strahlen sollte. Weiter stellte Pictet in den Focus des einen der 10,5 Fuſs von einander abstehenden Hohlspiegel eine kleine gläserne Phiole mit etwa 2 Unzen siedenden Wassers und ein empfindliches Thermometer in den des andern; in 7 Minuten stieg dasselbe von 8°,33 bis 10°,33 und fiel nach Wegnahme der Phiole auf seinen vorigen Stand. Als nachher die Kugel des Thermometers geschwärzt war, stieg das Thermometer in derselben Zeit von 10°,75 bis 12°,87. Wurde ein gläserner Hohlspiegel statt des metallenen angewandt, so war kein Steigen des Thermometers durch die heiſse eiserne Kugel wahrnehmbar. Pictet wünschte auch die Geschwindigkeit der

1 Versuch über das Feuer. Deutsche Ueb. Tüb. 1790. S. 56 ff. Vergl. Essais de Phys. T. I. p. 63.

Wärmestrahlung zu messen, stellte deswegen die beiden Spiegel 69 Fuſs von einander, brachte in den Focus des einen die eiserne Kugel, in den des andern ein empfindliches Luftthermometer, und hielt einen Schirm zwischen beide. Nach Wegnahme des Schirmes stieg das Thermometer sofort, weswegen er die Geschwindigkeit für unmeſsbar groſs hielt, jedoch begreift man leicht, daſs diese Art der Messung ungenügend ist. Solche Hohlspiegel werden seitdem sehr allgemein gebraucht und heiſsen die *Pictet'schen* Brennspiegel. In der Regel haben sie 18 Z. Chorde und 6 bis 8 Z. Brennweite; man legt in den Brennpunct des einen mit einem Blasebalge versehenen eine etliche Kubikzoll groſse Kohle, bringt in den des andern ein Stück Zündschwamm, entfernt beide auf 12 bis 36 Fuſs von einander und entzündet den Schwamm durch Anblasen der Kohle. Die gewöhnlichen Spiegel dieser Art sind von getriebenem Messingblech und daher unvollkommen; könnte man sie aber ohne zu groſse Kosten von hoch polirtem Spiegelmetall oder Stahl erhalten, so lieſsen sich damit sicher viele belehrende Versuche anstellen. Pictet brachte auch eine kaltmachende Mischung in den Focus des einen seiner Spiegel und sah dann das Thermometer tief herabgehn, betrachtete dieses aber nicht als Kältestrahlung, sondern als eine vom Thermometer aus rückwärts gehende Wärmestrahlung[1].

230) Die bisher erwähnten Versuche bezogen sich auf die Wärmestrahlen, sofern dieselben auf verschiedene Flächen fallen und von diesen verschluckt oder reflectirt werden, wenn wir vorläufig den Durchgang durch das Glas unberücksichtigt lassen; Rumford[2] berücksichtigte bei seinen Untersuchungen nicht bloſs dieses, sondern auch den Einfluſs, welchen die Flächen auf die durch sie dringenden Wärmestrahlen ausüben. Er wurde hierauf durch die Beobachtung geführt, daſs blecherne Gefäſse, wenn sie blanke Oberflächen haben, mit heiſsem Wasser gefüllt in ruhiger Luft langsamer erkalten und nach

1 Herschel in Encycl. Met. Art. Heat. p. 292 giebt an, daſs die Mitglieder der Akad. del Cimento 500 ℔. Eis vor einen Hohlspiegel brachten und das Thermometer im Focus dadurch sinken sahn.

2 Mémoires sur la Chaleur. Par. 1804. 8. Philos. Trans. 1804. 77. Kurze Notitz in G. XVII. 85 u. 213.

tiefer Erkaltung in heifser Luft langsamer erwärmt werden als wenn ihre Oberfläche mit dünnem Zeuge überkleidet ist RUMFORD bediente sich zu den feinern Versuchen seines *Thermoskops*[1], mittelst dessen er die kleinen Unterschiede der Strahlung messen konnte, indem er zugleich zwischen die beide Kugeln des Instrumentes Schirme aus Papier mit Goldschaum überzogen brachte, um die eine oder die andere Kugel gege den Einflufs der strahlenden Wärme oder auch gegen die vo ihm angenommene Kältestrahlung zu schützen. Seine Versuche bezweckten zuerst den Beweis, dafs wirklich eine Strahlung, bestehend in Undulationen, statt finde, weil die Wärm das Thermometer in einer Entfernung afficire, wohin sie durc Mittheilung nicht gelangen könne, eine Folgerung, die in Gemäfsheit der sehr geringen Leitungsfähigkeit wohl als richti gelten, zugleich aber auf keine Weise so weit ausgedehnt wer den kann, dafs zugleich die Materialität der Wärme dadurc widerlegt würde. RUMFORD füllte daher metallene Cylind mit Wasser von 82°,22 C. Wärme, brachte sie in verschie dene Entfernungen von den Kugeln seines Calorimeters un beobachtete die Bewegung der Flüssigkeitssäule in der Röh des letzteren. Alsdann liefs er gleiche Gefäfse von verschie denen Metallen verfertigen oder überzog das nämliche mit Gol schaum, Silberschaum u. s. w. und fand, dafs bei gleich Blänke die Strahlung nicht merklich verschieden war. Den nächst näherte er dieselben Cylinder mit Eis gefüllt oder Ei stücke oder mit eiskaltem Wasser gefüllte Gefäfse den Kuge des Thermoskops von oben, von unten und von der Sei und gewahrte sogleich eine entgegengesetzte Bewegung d Flüssigkeitssäule. Zugleich entdeckte er, dafs durch Lampenrufs geschwärzte Metallflächen sowohl die Wärmestrahle als auch die Kältestrahlen weit leichter aussendeten, als p lirte. War der Boden eines metallenen Cylinders mit Gol schlägerhaut bekleidet, so zeigte sich eine 25mal stärkere Wä mestrahlung; in einer Anmerkung wird jedoch hinzugefü dafs diese Bestimmungen sehr variiren, je nachdem das The moskop empfindlicher ist, und zwar in der Art, dafs ein em pfindliches nur ein Verhältnifs von 4:1, ein durch einen Ue berzug mit schwarzem Tusch unempfindlicher gemachtes d

1 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 996.

Verhältniſs von 16:1 gab, denn das Thermoskop ist am empfindlichsten, wenn die Kugeln ganz rein sind. Die angegebenen Zahlenbestimmungen können auf jeden Fall nicht als völlig genau gelten. Ein interessanter Versuch unter vielen andern war der, wobei der Kugel des Thermoskops in gleicher Entfernung von beiden Seiten zwei Cylinder gleichzeitig genähert wurden, deren einer ebenso viel wärmer, der andere ebenso viel kälter war als die Temperatur der Kugel, und als sich kein merklicher Einfluſs zeigte, glaubte Rumford hierin den Beweis zu finden, daſs die Kältestrahlen von gleicher Intensität seyen, als die Wärmestrahlen. Durch Bekleidung der Cylinderflächen mit Goldschlägerhaut fand er ferner nicht bloſs das Ausströmen der Wärme, sondern auch das Einströmen derselben bedeutend verstärkt, und noch mehr, wenn diese Bekleidung mit Tusch geschwärzt war. Gegen die Annahme eigener Kältestrahlen erklärte sich vorzüglich Prevost, indem nach seiner Ansicht die stärkeren Wärmestrahlen heiſserer Körper die schwächeren kälterer überwinden; inzwischen hat schon Pictet die Sache richtig aufgefaſst, und es bedarf zur Erläuterung dieser Phänomene keiner so ausführlicher Untersuchungen, als Ainger[1] ihr gewidmet hat.

In einem am 25sten Juni 1804 im Institute vorgelesenen Memoir wiederholt Rumford[2] die Resultate dieser seiner Versuche, hauptsächlich um zu beweisen, daſs es keinen Wärmestoff gebe, sondern daſs die diesem beigelegten Phänomene von Wärme- und Kältestrahlen herrühren, wobei er jedoch zugesteht, daſs diese auch in Undulationen des Aethers bestehn können, welcher die Molecüle der Körper umgiebt und ihre Repulsion bewirkt. Als belehrender Zusatz ist aber zu betrachten, daſs die Dicke der Ueberzüge blanker Metallflächen einen Einfluſs auf die Zeit des Erkaltens ausübt. Ohne Ueberzug erfolgte die Erkaltung um gleiche Grade in 45 Min.; bei einer Lage Firniſs in 31 Min., bei zwei Lagen in 26,25 Min., bei vier Lagen in 20,75 Min. und bei acht Lagen in 24 Minuten.

231) Gleichzeitig mit Rumford wandte sich auch Leslie[3]

1 The Quarterly Journ. New Ser. N. XIV. p. 378.
2 Mémoires. p. 129.
3 Inquiry into the nature of Heat. Lond. 1804. 8. Vergl. Phi-

zur Untersuchung dieser Aufgabe, wiederholte namentlich die durch Pictet angestellten Versuche, und erweiterte diese insofern, als er nicht blofs die Oberfläche der Spiegel, sowohl der metallenen als auch der gläsernen, sondern auch die Kugeln seines Differentialthermometers, dessen er sich auf gleiche Weise, als Rumford seines Thermoskops bediente, mit den verschiedensten Substanzen bekleidete, um deren Ein- und Ausstrahlungsvermögen zu bestimmen. Indem er die Wirkungen eines gläsernen Hohlspiegels untersuchte, den er foliirt und nicht foliirt, mit polirter und rauh gemachter Oberfläche anwandte, gelangte er zu der Ueberzeugung, dafs nicht blofs die Oberfläche der Körper, sondern auch ihre eigentliche Beschaffenheit das Strahlungsvermögen bedinge, was jedoch schwerlich begründet seyn dürfte, wenn auch Glas, als transparenter Körper, hierauf führen sollte; überhaupt erfordert der Durchgang der Wärme durch transparente Körper eine specielle Untersuchung. Die bis dahin erhaltenen Resultate wurden bedeutend erweitert durch die Anwendung eines *hohlen Würfels* aus Metallblech, am besten Messing- oder Kupferblech, von 4 bis 6 Zoll Seite. Da die obere und untere Fläche solcher Würfel nicht in Betrachtung kommen, so sind blofs die vier Seitenflächen zu berücksichtigen. Diese werden in allen Beziehungen einander gleich gewählt, dann bleibt die eine äufsere Fläche polirt, die drei andern werden aber mit verschiedenen Substanzen bedeckt, wozu Leslie Lampenrufs, Schreibpapier und Kronglas wählte[1]. In der obern Fläche befindet sich eine Oeffnung mit konischer Röhre zum Eingiefsen des heifsen oder eiskalten Wassers, durch welche man zugleich ein Thermometer einsenken kann, und auf der Mitte wird ein hölzerner Knopf zum bequemere

---

los. Trans. 1816. P. 1. Wiederholung seiner Versuche durch Henry Hudson in London and Edinb. Phil. Mag. N. XL. p. 297.

1 Zweckmäfsig ist die eine Seite polirt, die zweite mattgeschliffen, die dritte mit Lampenrufs und die vierte mit verschiedenen farbigen Stoffen überzogen zu wählen. Uebrigens habe ich gefunden, dafs solche Würfel durch längeren Gebrauch weniger wirksam werden, vermuthlich weil die innern Flächen durch etwas Schmuz ihren Einflufs verlieren. Interessant ist bei einem solchen Würfel, dafs bei gleichzeitiger Näherung zweier Finger in gleichen Abständen die polirte Seite kalt, die mit Papier beklebte heifs scheint, bei der Berührung aber das Gegentheil eintritt.

Manipuliren angebracht. Nähert man abwechselnd die verschiedenen Seiten einem Luftthermometer in gleichen Entfernungen, so gewahrt man den Unterschied des Strahlungsvermögens. LESLIE glaubt auch gefunden zu haben, dafs der Focus der Wärmestrahlen näher am Spiegel liege, als der der Lichtstrahlen, was jedoch später nicht besonders beachtet und bestätigt worden ist. Derselbe hat die verschiedenen Substanzen nach ihrem Ausstrahlungsvermögen geordnet. Hiernach ist dasselbe in relativen Zahlenbestimmungen ausgedrückt folgendes:

Lampenschwarz .	100	Marienglas	80
Schreibpapier . .	98	Reifsblei	75
Harz	96	rauhes Blei . . .	45
Siegellack	95	Quecksilber . . .	20
Kronglas	90	blankes Blei . . .	19
Tusche	88	polirtes Eisen . .	15
Eis	85	Zinnplatte	12
Mennig	80	Gold, Silber, Kupfer	12

Das Ausstrahlungsvermögen des Wassers nimmt er nach Schätzung zu 100 an, doch ist diese Bestimmung wohl sehr ungewifs, und überhaupt kommt es ohne Zweifel sehr auf die Dicke der Ueberzüge an. MELLONI[1] bestimmte vermittelst seines Thermomultiplicators und der Anwendung eines Leslie'schen Würfels mit siedendem Wasser das relative Ausstrahlungsvermögen von sechs Substanzen, und fand dasselbe für Kienrufs = 100, Bleiweifs = 100, Hausenblase = 85, Gummilack = 72, Metallfläche = 12. Auf gleiche Weise hat LESLIE verschiedene Substanzen nach der verhältnifsmäfsigen Stärke ihres Reflexionsvermögens geordnet.

Messing	100	Blei	60
Silber	90	Zinnfolie in Quecksilber erweicht	10
Zinnfolie	85	Glas	10
Blockzinn	80	Glas mit Wachs oder Oel überzogen .	5
Stahl	70		

1 Poggendorff's Ann. XXXV. 572.

Inzwischen ist nicht zu bezweifeln, daſs, wie beim Lichte, so auch bei der Wärme die Höhe der Politur einen groſsen Einfluſs ausübt. Auf eine interessante Weise und zugleich mit Beziehung auf praktischen Nutzen hat R. W. Fox[1] das Strahlungsvermögen ungleicher Flächen durch die Menge des niedergeschlagenen Wasserdampfes bestimmt. Zwei gleiche hohle Würfel von Weiſsblech, 4 Zoll Seite haltend, waren mit einem Kessel so durch Röhren verbunden, daſs das in ihnen niedergeschlagene Wasser durch einen geöffneten Hahn ablief, das in den Röhren verdichtete aber in den Kessel zurückfloſs. Die Oberfläche des einen Gefäſses war blank, die des andern mit Lampenruſs geschwärzt, und das Verhältniſs der Strahlung beider war 972 zu 1736 oder wie 1:1,786. Aeltere Versuche ebendesselben[2], wobei er metallene Gefäſse mit heiſsem Oel gefüllt, theils blank, theils mit geschwärzter Oberfläche, für sich allein oder in andere etwas weitere Kästchen eingeschlossen, unter einer Campane in atmosphärischer Luft oder in exantlirter erkalten lieſs, beweisen im Allgemeinen, daſs die Erkaltung im Vacuum langsamer, als in der Luft erfolgt. Die Wirkung geschwärzter Oberflächen ist anderweitig genügend bekannt, weniger aber, daſs das Hineinsetzen in die umgebenden Kästchen die Zeit des Erkaltens im Ganzen verkürzte.

232) Unter diejenigen, welche schätzbare Versuche über Wärmestrahlung anstellten, gehört auch Maycock[3], dessen Bemühungen zu ihrer Zeit mehr Anerkennung verdient hätten, als ihnen zu Theil wurde, da er den Einfluſs des Lichtes gänzlich ausschloſs, indem er ein Gefäſs mit heiſsem Wasser in den Brennpunct des einen Spiegels stellte. Auſserdem wandte er Tafeln von verschieden gefärbtem Glase zum Auffangen der Wärmestrahlen an, und bemerkte, daſs diese eine ungleiche Menge derselben durchlassen, worauf wir hier bloſs deswegen nicht weiter eingehen, weil dieser Gegenstand neuerdings viel gründlicher und in ungleich gröſserem Umfange behandelt worden ist. Eine groſse Menge Versuche über Wärme-

1 Edinburgh Journ. of Science. N. XVIII. p. 232.

2 Philosoph. Magaz. or Annals. T. XI. p. 345.

3 Nicholson's Journ. T. XXVI. p. 75. Bibl. Brit. T. XLV. p. 213.

strahlung hat ferner PREVOST[1] angestellt; sie enthalten jedoch nicht sowohl nur Thatsachen, als vielmehr die Elemente zur Begründung seiner Theorie, von welcher weiter die Rede seyn wird. Die Versuche von DE LA ROCHE[2] waren hauptsächlich bestimmt, die Modificationen der Licht- und Wärmestrahlen kennen zu lernen, welche sie beim Durchgange durch verschiedene Arten Glas erleiden, inzwischen beweisen sie zugleich, man darf wohl sagen unzweifelhaft, einen allerdings hierher gehörigen Satz, daſs nämlich die Quantität Wärme, welche ein erhitzter Körper in einer gegebenen Zeit gegen einen in gewissem Abstande entfernten Körper ausstrahlt, unter übrigens gleichen Umständen in einem gröſseren Verhältnisse wächst, als in dem des Temperaturunterschiedes beider Körper. Unter die minder ausführlichen Behandlungen des Problems der Strahlung gehören auch die Versuche von RITCHIE[3]. Das *Differentialthermometer*, dessen er sich dabei bediente, bestand aus 2 bis 6 oder gar 8 Zoll im Durchmesser haltenden 0,25 bis 1 Zoll dicken hohlen Cylindern von Messingblech oder dünnen Zinnplatten, die durch eine U-förmig gebogene Glasröhre verbunden waren. Die groſse Menge der in diesen Cylindern enthaltenen Luft muſste beim geringsten Wechsel ihrer Temperatur den kleinen Cylinder der in der Glasröhre eingeschlossenen gefärbten Flüssigkeit durch einen groſsen Raum bewegen, und zugleich waren die äuſsern Flächen der Cylinder mit Lampenruſs überzogen. Es ergab sich bei der Anwendung von Gefäſsen mit heiſsem Wasser und erhitzten Metallkugeln im Ganzen, daſs die Intensität der Wärmestrahlung den Quadraten der Enfernung umgekehrt proportional ist. Man nimmt dieses Gesetz sehr allgemein als gültig an, und auch sonstige Versuche dienen zur Unterstützung desselben, da man es ohnehin als theoretisch wohl begründet betrachten muſs. LESLIE[4] fand jedoch aus seinen Versuchen mit dem Photometer, daſs die Abnahme der Intensität dem einfachen Verhältniſs der Abstände sehr nahe proportional sey, und er sucht dieses

1 Essay sur le Calorique rayonnant. Génève 1809.

2 Journ. de Physique. T. LXXV. p. 201. Annals of Philos. T. II. p. 100.

3 Edinburgh Journ. of Science. N. XIV. p. 350.

4 An exper. Inquiry into the nature and propag. of Heat. exp. 15 u. 16.

mit seiner Theorie zu vereinigen, obwohl andere Versuche ihn auf das Gesetz der Abnahme nach dem umgekehrten quadratischen Verhältnisse führten. MELLONI[1] hat nicht blofs durch genaue Versuche die Gültigkeit dieses Gesetzes völlig erwiesen, sondern auch die Ursachen aufgefunden, welche LESLIE's Irrthum herbeiführten.

233) Bei allen diesen Untersuchungen bleibt die Frage unbeantwortet, ob durch gleiche Beschaffenheit der Oberflächen ebenso die *Einstrahlung* als die *Ausstrahlung* der Wärme bedingt wird. Zur Beantwortung derselben hat RITCHIE[2] Versuche mit einem eigens hierzu verfertigten, sehr zweckmäfsigen Apparate angestellt. Dieser besteht aus einem grofsen *Dif-*
Fig. *ferentialthermometer* mit Cylindern vom dünnsten Eisenblech
47. F und G, welche 3 bis 4 Z. hoch und 1 Z. dick auf die Enden einer an beiden Seiten rechtwinkelig aufgebogenen Glasröhre aufgesteckt sind. Der horizontale Theil AB dieser Glasröhre ist etwa 1 Fufs lang, jeder aufwärts gebogene Arm AD, BC vier bis fünf Z. hoch und oben in die Kugeln C und D aufgeblasen, um mehr Flüssigkeit aufzunehmen und ihr Eindringen in die hohlen Cylinder zu verhindern. Die innere Hälfte des einen der beiden Cylinder ist durch Lampenrufs geschwärzt oder mit einem sonstigen, die Strahlung befördernden Ueberzuge bedeckt, der andere behält seine blanke Oberfläche bei. In der Mitte der Glasröhre wird eine hölzerne Säule aufgerichtet und auf diese ein hohler Cylinder aus dünnstem Weifsbleich von gleicher Höhe und Dicke, als die beiden an den Enden der Glasröhre, gesteckt, dessen eine verticale Hälfte gleichfalls geschwärzt oder mit einem gleichen Ueberzuge versehn ist. Wird der mittlere Cylinder mit heifsem Wasser gefüllt und seine geschwärzte Seite der blanken des äufseren Cylinders gegenüber gestellt, so bleibt die Flüssigkeit im Differentialthermometer unbeweglich, steigt aber augenblicklich, wenn die geschwärzte gegen die gleichfalls geschwärzte des äufseren Cylinders gerichtet ist, woraus also hervorgeht, dafs die Stärke der Ausstrahlung von der Stärke der

1 Mém. de l'Acad. T. XIII. p. 572. Bibl. univ. T. XIII. p. 371. Poggendorff's Ann. XXXIX. 566. XLIV. 124.

2 Journ. of the Royal Inst. N. IV. p. 305. Poggendorff's Ann. XXVIII. 378.

Einstrahlung bei der Gleichheit der Oberfläche gleicher Körper nicht verschieden ist. Inzwischen beweiset dieser Versuch blofs für Kienrufs unter ganz gleichen Bedingungen, ist aber damit noch nicht für alle übrige Substanzen gültig, wie MELLONI's[1] Versuche beweisen. Dieser überzog gleiche Kupferscheiben mit den Substanzen, deren Absorptionsvermögen er untersuchen wollte, stellte sie vor die thermoelektrische Säule, liefs die Strahlen einer Lampe ohne Schirm darauf fallen und beobachtete die Ablenkungen der Nadel. Auf diese Weise erhielt er für Kienrufs 100, Bleiweifs 53, Hausenblase 52, Tusch 96, Gummilack 43, Metallfläche 14. Diese Gröfsen stimmen mit den (§. 231) für die Ausstrahlung gefundenen nicht überein, auch ergeben später (§. 264) zu erwähnende Versuche, dafs das Absorptionsvermögen der Körper anderen Bedingungen, als das Ausstrahlungsvermögen unterliegt, weswegen wir hier auf diese Untersuchungen verweisen.

234) Zuerst RUMFORD[2] und nach ihm mehrere Andere haben von dem Einflusse der Oberflächen der Körper auf die Aus- und Einstrahlung der Wärme Anwendungen auf technische und sonstige Einrichtungen gemacht. Es liegt nämlich sehr nahe, da man so oft ebensowohl die Ausstrahlung, als auch die Einstrahlung der Wärme zu verhüten strebt, dafs man hierzu die Blänke oder die Rauheit der Oberflächen benutzen könne. So werden blanke Küchengeschirre die Wärme weniger einströmen lassen und daher gröfsern Aufwand an Feuerungsmaterial erfordern, blanke Röhren dagegen die Wärme, die man den Zimmern zuzuführen wünscht, nicht genügend ausstrahlen lassen, und Oefen mit rauher Oberfläche sind aus diesem Grunde vortheilhafter als mit glasirter. Benutzt man die durch Röhren geleiteten Wasserdämpfe zum *Heizen der Zimmer*[3], so dürfen diese Röhren nicht blank seyn, denn TREDGOLD[4] findet das Ausstrahlungsvermögen von Weifsblech = 100, von Glas = 155, von Eisenblech mit glatter schwarzer Oberfläche = 156 und von Eisenblech mit brauner Oberfläche = 180,

---

1 Poggendorff's Ann. XXXV. 572.

2 Mémoires. p. 128.

3 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 406.

4 Grundsätze der Dampfheizung u. s. w. Ueb. von KÜHN. Leipz. 1826. S. 32.

weswegen letzteres für diesen Zweck am geeignetsten ist. Rumford[1] bemerkt auch, dafs in silbernen Kannen ein bessere Thee gemacht wird, als in irdenen, weil das Wasser die zum Ausziehn der Blätter erforderliche Siedehitze länger behäl. Vermuthlich beruht auf der schwierigen Einströmung der Wärme in blanke Flächen die allgemein beobachtete Thatsache, dafs die Stubenfliegen sich zur Herbstzeit so gern auf blank Gegenstände, vergoldete Rahmen u. s. w. zu setzen pflegen.

235) Obgleich eine Erklärung der bisher erörterten Thatsachen erst nach der Betrachtung aller damit zusammenhängender und verwandter Phänomene gegeben werden kann, so dürft es doch angemessen seyn, dasjenige vorläufig hier beizubringen was sich zunächst auf die Wirkungen der Oberflächen bezieh. Man nimmt allgemein an, und insbesondere ist dieses am bestimmtesten durch Leslie ausgedrückt worden, dafs die blanke Flächen, als solche, die Strahlung hindern, allein Melloni verwirft diese Ansicht. Zuerst fand er, dafs Elfenbein, Marmo und Gagat durch die Politur keine Aenderung des Strahlungsvermögens erleiden und die Erscheinung also blofs bei Metallen statt findet, bei denen er dann die Ursache davon ableite, dafs polirte Flächen härter sind und durch die Politur härte werden, welche Härte dann der Strahlung widerstehn sol. Einen directen Beweis hierfür glaubte er durch Silber führe zu können, indem gegossene Platten, wenn sie mit möglichster Vermeidung von Druck polirt waren, nach Wegnahm der Politur durch Schmirgelpapier sogar weniger strahlten, a die polirten, statt dafs bei gehämmerten das Gegentheil sta fand. Wie scheinbar beweisend indefs diese Versuche auc seyn mögen, so mufs man doch wohl erwägen, dafs die Härte der Metalle zwar nach Wegnahme der Politur dure Schmirgelpapier als verschwunden zu betrachten seyn könnt aber nicht beim Ueberziehn mit Lampenrufs, und sie müfst daher in diesem Falle nicht aufhören, die Strahlung zu hindern, wenn sie es überhaupt vermöchte.

236) Leslie[3] nimmt an, dafs die Wärme von strahlen

1 A. a. O. G. LI. 388.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 435. Edinburgh New Phi Journ. N. LII. p. 299. l'Institut. 6me Ann. N. 241. Poggendorff Ann. XLV. 57. Compt. rend. T. VII. p. 298.

3 Hauptsächlich in: Relation of Air to Heat and Moisture. p. 21

den Körpern an entfernte durch Undulationen der Luft fortgeführt werde, wobei er sich auf die Analogie mit dem Schalle beruft, zugleich aber gesteht, dafs es schwer sey, die eigentliche Art, wie die Strahlung geschehe, klar nachzuweisen, was auch unzweifelhaft der Fall ist. Nach seinen eigenen Worten geschieht die Fortpflanzung nicht durch ein Strömen der Luft, denn die Bewegung, selbst die gewaltsamste, hat keinen Einfluſs darauf, und die Luft muſs also, ohne ihren Ort zu verändern, die Eindrücke, die sie durch eine Art undulatorischer Bewegung erhält, auf gleiche Weise verbreiten, wie sie die Eindrücke des Schalles fortpflanzt. Wenn die Lufttheilchen, welche dem heiſsen Körper am nächsten sind, plötzlich Wärme von diesem aufnehmen, so dehnt sich die Luft aus und beginnt hiermit die Kette der Pulsationen. Indem diese die Oberfläche der Körper berührende Schicht sich wieder zusammenzieht, giebt sie ihren Ueberschuſs von Wärme an die nächste ab, die dadurch zur Expansion kommt, und so gehn die Wellen nach allen Seiten fort.

Gegen diese Ansicht, daſs die Luft hierbei als Vehikel diene, streitet aber die durch Lambert[1] gemachte Erfahrung, daſs die Strahlung in verdünnter Luft noch besser statt findet, worauf sich auch de Saussure[2] bezieht, insbesondere aber hat H. Davy[3] durch einen eigenen Apparat dargethan, daſs in 120mal verdünnter Luft die Strahlung dreimal stärker ist, als in solcher unter atmosphärischem Drucke. Wird nämlich der feine Platindraht a durch den Strom einer Volta'schen Säule Fig.
glühend gemacht, so fängt der Spiegel S'S' die Wärmestrahlen 248.
auf, sendet sie zum Spiegel SS und bringt das Thermometer t im Brennpuncte desselben zum Steigen. Um den Einfluſs der Verschiedenheit der Flächen, z. B. der metallischen und nicht metallischen, der polirten und rauhen, mit seiner Hypothese in Einklang zu bringen, nimmt Leslie seine Zuflucht zu einer mehr oder minder innigen Berührung der Luft und der Flächen, wonach z. B. die Luft von polirten Metallflächen mindestens 0,002 Z. Abstand haben soll. Hiergegen

1 Pyrometrie. sect. 492.
2 Essay sur l'Hygrométrie. p. 232.
3 Library of useful knowledge. T. I. Heat. p. 31. Vergl. Henry Elements of Chimistry. T. I. p. 88.

erinnert aber RITCHIE[1] mit Recht, dafs die Wärme, sobald sie sich einmal durch einen leeren Raum von 0,002 Z. bewegen kann, sich auch durch einen gröfsern zu bewegen im Stande seyn müfste. Insbesondere aber stellte Letzterer ihm die Resultate seiner Versuche entgegen[2], wonach die Wärmestrahlen, auch die nicht leuchtenden, sehr dünne, fast Newton'sche Farben zeigende Glasscheiben und Häutchen von Eiweifs oder etwas klebrig gemachtem Wasser durchdringen, was geradezu gegen eine Bewegung der Luft streite. LESLIE suchte zwar diesen Einwurf durch die Hypothese zu beseitigen, dafs die Wärme sich der einen Seite der Schirme mittheile und von der andern dann wieder abgegeben werde, womit BREWSTER[3] insofern übereinstimmt, als nach ihm die Wärme gar nicht durch transparente Schirme dringen, sondern namentlich das Glas auf der einen Fläche erwärmen und dann von der andern durch secundäre Schwingungen wieder abgegeben werden soll; bekanntlich aber werden solche transparente Schirme selbst nicht warm. Die ganze künstlich selbst geschaffene Schwierigkeit liegt offenbar blofs darin, dafs LESLIE Bedenken trug, dem überall verbreiteten Wärmestoffe Undulationen beizulegen, was doch bei der auffallenden Aehnlichkeit zwischen Licht und Wärme ebenso einfach als sachgemäfs gewesen wäre. Bei dieser so nahe liegenden Hypothese ist man sogar vorläufig der Mühe überhoben, die Aetiologie der Wirkungen polirter Flächen und des Unterschiedes ihres Verhaltens von dem der rauhen nachzuweisen, da die Lichtwellen durch ebendiese auf gleiche Weise afficirt werden. Als genügend dürfte in dieser letzten Beziehung die Erklärung wohl nicht erscheinen, welche LEBLANC[4] giebt, wonach das stärkere Strahlungsvermögen rauher Oberflächen eine Folge davon seyn soll, dafs sie eben durch die Rauheit mehr Berührungspuncte darbieten sollen.

---

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. XV. p. 137.

2 Philos. Trans. 1826. Edinburgh Journ. of Science. N. XIV. p. 348.

3 Philos. Trans. 1816. p. 106.

4 L'Inst. 6me Ann. N. 252. p. 346.

β) Gesetze des Erkaltens.

237) Wir haben bisher die Oberflächen der Körper nur insofern betrachtet, als sie ohne Rücksicht auf die durch dieselben eingeschlossenen Körper die Wärmestrahlen theils eindringen oder herausdringen lassen, theils zurückwerfen und zurückhalten; wir müssen sie aber nothwendig auch in ihrer Beziehung zu den eingeschlossenen Massen und die letzteren selbst rücksichtlich ihres Verhaltens zur Wärme betrachten, was dann zu den vielfach untersuchten Gesetzen der *Abkühlung* und der damit eng verbundenen, ihr entgegengesetzten *Erwärmung* führt. Sollen diese für sich und ohne Rücksicht auf den Einfluſs der umgebenden Medien untersucht werden, was das eigentliche Ziel der Aufgabe seyn müſste, so würde erfordert werden, bloſs die im luftleeren Raume angestellten Versuche zu berücksichtigen; da aber solche mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verknüpft sind, so wurden die meisten in ruhiger und trockner Luft angestellt, unter der Voraussetzung, daſs diese auf die Abkühlungsgesetze keinen bedeutenden Einfluſs habe oder mindestens auf diesem Wege vergleichbare Resultate zu erlangen seyen. Erkaltet ein Körper im absoluten Vacuum, so geschieht dieses bloſs durch Strahlung, und die Gesetze hierüber können rein dargestellt werden; befindet er sich aber in irgend einer Umgebung, so entzieht diese ihm durch Berührung gleichfalls einen, nach ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit verschiedenen Theil seiner Wärme und die Erscheinung wird verwickelter. Hieraus wird leicht erklärlich, warum die Resultate über dieses Problem so verschieden ausgefallen sind. Uebrigens ist diese Aufgabe von so vielen bedeutenden Männern und in solcher Ausführlichkeit behandelt worden, daſs es nicht leicht ist, sich bei einer übersichtlichen Zusammenstellung ihrer Arbeiten kurz zu fassen.

238) Theoretisch wurde diese Aufgabe zuerst behandelt durch Newton[1]. Dieser dachte sich, um einen besseren Anhaltpunct zu haben, eine Kugel, und nahm an, daſs diese, aus einer willkürlichen Menge dünner Kugelschichten bestehend, zunächst die Wärme der äuſsersten abgebe, die dann durch die

1 Philos. Trans. 1701. N. 270. Princ. L. III. Prop. VIII. Coroll. Opusc. T. II. p. 428. opusc. XXI.

angrenzenden von der einen zur andern bis zum Centrum fort schreitend der Stärke der Spannung gemäfs wieder erset werde, woraus folgt, dafs die Zeiten des Erkaltens die Log rithmen der Temperaturen welche die Körper im Verhältni zu ihrer Umgebung haben, seyn müssen, oder dafs letztere ei logarithmische Curve bilden. Hierbei blieb er jedoch nic stehn, sondern seiner Gewohnheit nach prüfte er die Theo durch die Erfahrung, wie unvollkommen auch seine Mitt hierzu waren. Zu diesem Ende benutzte er ein von Prinse später angegebenes thermometrisches Mittel, nämlich d Schmelzpuncte verschiedener Metalle und sonstiger Körper, e hitzte eine hinlänglich grofse Eismasse bis zum Glühen, brach sie an einen kühlen Ort, wo stets gleichmäfsig frischer Luf zug herrschte (und die Umgebung daher wahrscheinlich v stets gleichbleibender Temperatur war), und beobachtete d Zeiten des Erstarrens der verschiedenen darauf geschmolzen Substanzen. Hierdurch fand er, dafs für die in arithmetisch Reihe zunehmenden Zeiten die Temperaturunterschiede zw schen der erkaltenden Masse und der Umgebung in einer ge metrischen Reihe abnahmen, was man seitdem das *Newton'sc Gesetz des Erkaltens* genannt hat. Dieses Gesetz ist spät durch Fourier[2] und Poisson[3] vermittelst eines ebenso gelehrt als höchst eleganten Calcüls ausführlich entwickelt worden, j doch gestatten diese classischen, hauptsächlich für den Math matiker höchst interessanten Arbeiten keinen kurzen Ausz Die zahlreichen Bemühungen der übrigen Gelehrten bezie sich vorzugsweise, wo nicht ausschliefslich, darauf, jenes G setz durch die Erfahrung zu prüfen, und hiervon wollen w das Wichtigste kurz mittheilen.

239) Zuerst wollte Martine[4] aus seinen Versuchen g funden haben, dafs das Newton'sche Gesetz mit der Erfahru nicht übereinstimme, wie Amontons[5] schon früher behaupt

---

1 S. Art. *Pyrometer*. Bd. VII. S. 109.

2 Théorie analytique de la Chaleur. Par. 1822. 4. Chap. IX. 428 ff.

3 Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. 4. Chap et III.

4 Dissertation sur la Chaleur. Par. 1751. p. 69.

5 Mém. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1 ff.

hatte, weil er den eigentlichen Sinn NEWTON's nicht verstand. BARNAART[1] folgerte anfangs aus seinen Versuchen, dafs MUSSCHENBROEK der Wahrheit näher gekommen sey, indem er annehme, dafs von der geometrischen Progression eine arithmetische abzuziehn sey, wenn man das Gesetz der Abkühlung genau bestimmen wolle. KRAFT und nach ihm RICHMANN[2] fanden, dafs das Newton'sche Gesetz mindestens annähernd richtig sey, wenn der Ueberschufs der Wärme des erkaltenden Körpers über die der Umgebung nicht mehr als etwa 22° bis 27° C. betrage, für höhere Temperaturen aber nicht ausreiche. Dagegen zeigte LAMBERT[3] die Uebereinstimmung desselben, ohne diese Beschränkung, sowohl mit theoretischen Principien, als auch mit den Resultaten seiner eigenen Versuche, und entwickelte Formeln zur Berechnung der verschiedenen Gröfsen; allein ERXLEBEN[4] folgerte aus seinen Versuchen, dafs man sich stets weiter von der Wahrheit entfernen werde, je gröfser der Unterschied der Temperaturen des erkaltenden Körpers und seiner Umgebung sey, und dafs man daher das fragliche Gesetz nicht weiter ausdehnen könne, als die Erfahrung reiche[5]. In seinen Untersuchungen über das Verhalten der Wärme berührte LESLIE[6] gleichfalls diese Aufgabe, und gelangte durch seine Versuche dahin, dafs das Newton'sche Gesetz im Allgemeinen als gültig anzunehmen sey, jedoch erzeuge die Beschaffenheit der Oberfläche des abkühlenden Körpers einen merkbaren Unterschied. Nach ihm verliert der Körper seine Wärme theils durch die eigenthümliche ableitende Kraft der Luft, theils durch das Aufsteigen der durch Berührung erwärmten Luft, theils endlich durch wirkliche Strahlung, und da Letzteres die eigentliche Aufgabe betrifft, so sucht er die drei Gröfsen zu trennen, ohne dabei auf Versuche, im luftleeren Raume angestellt, zu fufsen. DALTON[7] prüfte LESLIE's

1 Dissert. inauguralis. Traj. ad Rhen. 1772.

2 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 174.

3 Pyrometrie §. 254 ff.

4 Nov. Comm. Soc. Gott. T. VIII. p. 74.

5 BUFFON's Versuche über das Erkalten von Kugeln in Hist. Nat. T. V. ed. SONNINI übergehe ich, weil die thermometrischen Bestimmungen zu wenig genau sind.

6 Inquiry into the nature of Heat. Lond. 1804.

7 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissen-

Sätze, die er im Ganzen als gültig anerkennt, zum Theil abe widerlegt, den wesentlichsten Theil seiner Untersuchungen bilden aber vier Versuchsreihen, durch welche er selbst unte verschiedenen Modificationen das angegebene Gesetz bestätig fand, wonach die Temperaturen für gleiche Zeitintervalle i einer geometrischen Progression abnehmen. Dieses Resultat is aber nach DALTON nur dann richtig, aber auch absolut richtig, wenn die gewöhnliche Thermometerscale nach seiner Angabe abgeändert wird, worauf jedoch die Physiker bis jetz noch nicht eingegangen sind.

240) Die französischen Gelehrten haben viel für die Aufhellung dieses Problems gethan; wir besitzen von ihnen dre sehr gehaltreiche Abhandlungen, unter denen die von DELAROCHE[1] den Anfang macht. Dieser folgerte aus seinen Versuchen, daſs das Newton'sche Gesetz, wonach zwei Körper i verschwindend kleinen Zeiten sich wechselsweise von ihre freien Wärme eine ihren ungleichen Wärmemengen oder den Unterschiede der Temperaturen beider proportionale Menge mittheilen müssen, nur annähernd, und zwar für geringe Temperaturunterschiede, nicht aber allgemein, gültig sey. Für Temperaturen unter 200° C. gebrauchte er ein eisernes, mit Quecksilber gefülltes Gefäſs, dessen Temperatur er vermittelst eine eingesenkten Thermometers maſs, für höhere Temperature wählte er eine kupferne Kugel, die er bis zum Glühen erhitzen konnte und deren Wärme in einem solchen Zustand er aus derjenigen Quantität bestimmte, die sie, mit Rücksich auf die verschiedene Wärmecapacität beider Körper, einer gemessenen Menge Wasser mittheilte. Zum Messen der ausgestrahlten Wärme diente ihm ein feines Thermometer mit geschwärzter Kugel, in andern Fällen aber wandte er klein Würfel von Eis an, deren Gewicht genau bestimmt und dan die erhaltene Wärme aus dem Antheile, der von ihnen in gegebener Zeit geschmolzen war, gemessen wurde. Um auffal

---

schaft. Th. I. S. 114 ff. W. RITCHIE in Edinb. Phil. Journ. N. XXI p. 281. XXIII. p. 15 stellt gleichfalls Betrachtungen über LESLIE's Behauptungen an, die mir aber von untergeordnetem Werthe zu sey scheinen.

1 Sur le calorique rayonnant. In Journ. de Phys. T. LXXV. p 201. Nach der Darstellung in BIOT Traité. T. IV. p. 628.

lndere Wirkungen zu erhalten, bediente er sich zweier Pictet'-schen Spiegel, nachdem er sich überzeugt hatte, dafs hierdurch kein anderer Effect, als durch directe Einwirkung erzeugt werde. Die hierbei erforderlichen Vorsichtsmafsregeln, um anderweitige störende Einflüsse, namentlich der umgebenden Luft, zu entfernen, blieben von ihm nicht unberücksichtigt. Bei jedem Versuche wartete er, bis das Thermometer, welches die Wärmestrahlen auffing, stationär wurde, und wenn dann die Grade dieses letzteren durch t, die Grade des hunderttheiligen Thermometers im Quecksilber durch T ausgedrückt werden, so gaben zwei Reihen von Versuchen folgende Gröfsen:

Erste Reihe.

Nr.	T	t
Versuch 1	81°	4°,7
2	89	4,5
3	131	9,1
4	172	13,1
5	175	14,6
6	205	17,4

Zweite Reihe.

Nr.	T	t
Versuch 1	41°,4	1°,69
2	42,3	1,69
3	42,4	1,46
4	80,2	3,56
5	80,8	3,56
6	82,4	3,56
7	134,0	7,06
8	135,3	7,57
9	158,5	10,73
10	162,1	9,66
11	175,4	12,32
12	187,5	13,52

Venn man die Werthe der T als Abscissen nimmt und die Verthe der t als Ordinaten darauf fällt, so läfst sich der unrmeidlichen Abweichungen ungeachtet die erhaltene Curve rch die Gleichung

$$t = a\,T + b\,T^3$$

sdrücken, worin a und b zu bestimmende Constanten sind. er hat dieselben bestimmt, und findet, dafs hiernach die Bechtungen mit der Theorie sehr gut übereinstimmen, indefs tätigt sich die Angabe des Delaroche, dafs die Abweiung vom Newton'schen Gesetze sehr schnell abnimmt und Temperaturen, die 100° C. nicht übersteigen, gänzlich verwindet. Die Berechnung einiger andern Versuchsreihen mit kupfernen Kugel, deren Temperatur auf die angegebene ise in dem Momente gefunden würde, als das Thermomestationär war, solcher, wobei Thermometer mit geschwärzund freien Kugeln oder auch schmelzende Eisstücke die

Wärme anzeigten, sowohl bei der Anwendung von Spiegeln, als auch bei freier Strahlung, liefs die nämliche Formel zu, nur waren die Constanten a und b verschieden, wie sich schon in voraus vermuthen liefs[1]. Dafs übrigens der Einflufs der Luft auf die durchgehenden Wärmestrahlen nicht unbeachtet bleiben dürfe, konnte beiden Physikern nicht wohl entgehn.

241) Unter den (§. 230) erwähnten Versuchen, wodurch RUMFORD das Wesen der Wärmestrahlung auszumitteln suchte, befindet sich auch eine schätzbare Reihe, die er über die Gesetze des Erkaltens der Körper mit grofser Umsicht anstellte. Zu diesem Ende füllte er zwei der beschriebenen Gefäfse, eins mit blanker Oberfläche, das andere mit dünnem Musselin überzogen, mit heifsem Wasser, senkte in jedes ein Thermometer, dessen Scale zum Ablesen herausstand, hing sie an dünnen Fäden in einem grofsen Zimmer auf, dessen Läden und Thüren verschlossen blieben, um Luftzug zu vermeiden und seine Temperatur während der ganzen Zeit der Beobachtung unverändert zu erhalten, und beobachtete dann den Gang des Thermometers mit einem Fernrohre von aufsen. Das blanke Gefäfs erkaltete ungleich langsamer, als das bekleidete; inzwischen zeigt BIOT, dafs die Resultate beider Versuchsreihen sich durch die Formel

$$\text{Log.}\,T = \text{Log.}\,T_0 - \frac{a}{M}t$$

sehr annähernd ausdrücken lassen, worin T den Ueberschufs der Temperatur des Gefäfses über die der Umgebung in der gegebenen Zeit bezeichnet, a einen beständigen Coefficienten und M den Modulus der gemeinen Logarithmen = 2,302585 bezeichnen. Aus der Bestimmung von $T_0 = 109^\circ,5 - 43^\circ,5 = 66^\circ$ F wurde mit Weglassung der ersten, durch äufsere Einflüsse zu sehr bedingten Resultate der Werth von $\frac{a}{M} = 0{,}00187785$ für die mit dem blanken Gefäfse und $\frac{a}{M} = 0{,}00264483$ für die mi

1 DULONG und PETIT haben in ihrer sogleich zu erwähnenden Abhandlung eine der Versuchsreihen von DELAROCHE nach ihrer Formel berechnet, und es ergiebt sich daraus, dafs das von ihnen aufgefundene Gesetz auch auf diese Beobachtungen Anwendung leidet.

dem bekleideten erhaltenen Gröfsen gefunden. Biot[1] machte selbst eine Versuchsreihe auf dem Hospitium des St. Bernhard, wozu er eine massive vergoldete Kugel von Kupfer nahm, die er in einem Etui von Weifsblech liegend so lange in siedendem Wasser eingetaucht hielt, bis das in ihr steckende Thermometer stationär wurde, dann an drei Fäden in einem geräumigen Zimmer aufhing, dessen Temperatur sich nicht merklich änderte, und die Unterschiede der Temperaturen der Kugel und des Zimmers in gemessenen Zeiten aufzeichnete. Die dritte Beobachtung gab $T_0 = 53° - 12°,2 = 40°,8$ C. und diese mit der letzten $T_0 = 32° - 12°,2 = 19°,8$ für das Zeitintervall $t = 66',83$ verbunden gab $\frac{a}{M} = 0,00469841$. Die berechneten Werthe stimmten mit den beobachteten bis auf die unvermeidliche Fehlergrenze genau überein. Aus frühern, schon in Paris angestellten Versuchen fand Biot $\frac{a}{M} = 0,00050936$; allein er hält diese Bestimmung für weniger genau, und bemerkt aufserdem, dafs die Werthe von a nicht stets gleich seyn können, weil die Zimmer, wie grofs sie auch seyn mögen, in Folge der Beschaffenheit ihrer Wände verschiedenen Einflufs äufsern, wozu noch der Umstand kommen dürfte, dafs die Kugel durch mehrmaligen Gebrauch einige Veränderung ihrer Politur erlitten hatte. Rumford brachte seine Gefäfse nach dem Abkühlen in ein heifses Zimmer und beobachtete die Zeit der Temperaturerhöhung, und Biot zeigt, dafs auch hierauf das logarithmische Gesetz Anwendung leidet, jedoch mufs der Coefficient a anders bestimmt werden. Nicht minder zeigt sich dieses Gesetz anwendbar auf einige Versuchsreihen, welche Biot in Gemeinschaft mit Decandolle anstellte, indem Beide verschlossene, mit Flüssigkeiten gefüllte, Gefäfse in grofsen Behältern mit Wasser abkühlen liefsen und die Verminderungen der Temperatur durch eingesenkte empfindliche Thermometer mafsen. Das Verschliefsen der die Flüssigkeiten enthaltenden Gefäfse ist deswegen nothwendig, weil sonst die Verdampfung eine nicht wohl zu berechnende Bedingung herbeiführt, und zugleich mufs das zur Abkühlung dienende Gefäfs von hinlänglicher Gröfse seyn, damit das Wasser in demselben seine Temperatur nicht

1 Traité. T. III. p. 621.

ändert, indem es sonst durch anderes ersetzt werden müfste um es bei constanter Wärme zu erhalten. Bei zwei Versuchsreihen, in denen Schwefelsäure zuerst erwärmt und dann abgekühlt wurde, war für die erste der Werth von $\frac{a}{M} = 0{,}001023936$ und für die zweite $\frac{a}{M} = 0{,}0004841826$, welches zeigt, dafs die Erwärmung schneller, als das Erkalten fortschritt; da aber bei beiden die nach der angegebenen Formel berechneten Werthe mit den beobachteten bis auf geringe Unterschiede übereinstimmten, so liegt hierin ein Beweis, dafs das durch Newton aufgestellte logarithmische Gesetz auf diese Phänomene innerhalb der Grenzen der in den Versuchen statt gefundenen Temperaturen anwendbar sey.

242) Die ausgedehnteste Reihe mit gröfster Umsicht angestellter Versuche haben Dulong und Petit[1] in ihrer bekannten Preisschrift über dieses Problem geliefert. Sie unterscheiden zuvörderst die Gesetze der Abkühlung im leeren Raum von der in flüssigen Medien[2], und bemerken zugleich richtig, es müsse eigentlich ein so kleiner Körper untersucht werden, dafs alle seine Theilchen als gleich warm zu betrachten wären, was aber eine unmögliche Aufgabe seyn würde. Um daher die Schwierigkeit möglichst zu umgehen und die Verbreitung der Wärme von seinem Centrum bis zur Oberfläche vorläufig auszumitteln, wählten sie Flüssigkeiten als diejenigen Substanzen, bei denen sie die Gesetze der Abkühlung aufzusuchen beabsichtigten, und zwar zuerst das in der Thermometerkugel eingeschlossene Quecksilber. Dabei wurde aber vorläufig erfordert, den Einflufs der Gröfse des erkaltenden Körpers auszumitteln und zu erforschen, ob die Gesetze des Erkaltens meh

1 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 225. Thomson's Annals of Philos. T. XIII. p. 113. Journ. de Phys. T. LXXXVI. Schweigger's Journ. XXV. 304.

2 Da es zu weit führen würde, alle die älteren zahlreichen Versuche mitzutheilen, so begnüge ich mich, die von Pictet angestellten nur beiläufig zu erwähnen. Er hing ein Thermometer in einen gläsernen Ballon auf, erhitzte dasselbe durch Wärme von Kerzen, die durch einen Metallspiegel reflectirt wurde, und mafs die Zeit des Erkaltens im leeren Raume und in verschiedenen elastischen Flüssigkeiten. S. Versuch über das Feuer Cap. IV., V. u. VI. S. 81 ff.

von der Natur der Flüssigkeiten oder von der Gestalt und Beschaffenheit der Hülle abhängen, worin sie eingeschlossen sind. Zur Berechnung dienten folgende Elemente. Wäre der Unterschied der Temperaturen des erkaltenden Körpers und des umgebenden Mediums in den Zeiten 0′, 1′, 2′, 3′, ... t′ = A, B, C ...... T, so würde unter Voraussetzung der Richtigkeit einer geometrischen Progression $B = A m$, $C = A m^2$ seyn, worin m einen für verschiedene Flüssigkeiten besonders zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet. Sie fanden jedoch bald, dafs dieses Newton'sche Gesetz für höhere Temperaturen nicht genügt, und sie wählten daher den Ausdruck $A m^{\alpha t + \beta t^2}$, worin die Gröfsen m, α und β zu bestimmen sind, um die Fehler der unmittelbaren Beobachtungen zu corrigiren. Zuerst verglichen sie 3 Thermometer A, B, C, deren Kugeln 2, 4 und 7 Millim. Durchmesser hatten, berechneten nach der angegebenen Formel die beobachteten Abkühlungen und erhielten hiernach folgende Gröfsen:

Temperaturunterschied	Abkühlung des Therm. A.	Abkühlung des Therm. B.	Abkühlung des Therm. C.
100°	18°,92	8°,97	5°,00
80°	14,00	6,60	3,67
60°	9,58	4,56	2,52
40°	5,93	2,80	1,56
20°	2,75	1,30	0,73

ucht man die Verhältnisse der zweiten zur dritten Columne A:B), so erhält man:

2,11 .... 2,12 .... 2,10 .... 2,12 .... 2,11;

er zweiten zur vierten Columne:

3,78 .... 3,81 .... 3,80 .... 3,80 .... 3,77.

s ergiebt sich aus der Gleichheit dieser Verhältnisse, dafs die ngleiche Gröfse der Thermometer innerhalb derjenigen Grenen, bis zu welcher die Versuche sich erstreckten, auf den ang der Abkühlung keinen Einflufs ausübt. Zunächst suchn sie auszumitteln, ob die Gesetze der Abkühlung bei verhiedenen Flüssigkeiten ungleich sind, und da die damalige nbekanntschaft mit dem Gange der Ausdehnung tropfbarer lüssigkeiten durch Wärme nicht erlaubte, mit den zu unter-

suchenden Flüssigkeiten gefüllte Thermometer anzuwenden, so wählten sie ein anderes Verfahren, nämlich den Gang des Erkaltens verschiedener Flüssigkeiten in der nämlichen Hülle zu beobachten. Ein eingesenktes Thermometer zeigte die jederzeitige Temperatur, und es ergab sich bald, daſs diese an allen Stellen gleich war, was ihnen eine Folge der Wärmeleitung im Innern zu seyn schien[1]. In drei Versuchsreihen, in denen Quecksilber mit Wasser, absolutem Alkohol und concentrirter Schwefelsäure verglichen wurden, zeigte sich, daſs bei allen Flüssigkeiten das nämliche Gesetz der Erkaltung statt findet. Ferner suchten sie den Einfluſs der Hüllen auf das Gesetz des Erkaltens auszumitteln und wählten daher Kugeln, eine von Glas, die andere von Zinnblech, mit Wasser gefüllt, welche folgende Resultate gaben:

Unterschied der Temperatur	Abkühlung der Glaskugel	Abkühlung der Zinnkugel	Verhältniſs
60°	1°,39	0°,90	1,54
50	1,13	0,73	1,55
40	0,85	0,54	1,57
30	0,62	0,38	1,63
20	0,37	0,21	1,76

Die Zahlen der vierten Columne wachsen stets, und es ergiebt sich hieraus, daſs die Abkühlung in Glas langsamer fortschreitet. Leslie hatte dieses bereits gefunden und daher als Regel aufgestellt, daſs diejenigen Hüllen am schnellsten abkühlen, welche am wenigsten strahlen, Dulong und Petit aber fanden, daſs die Temperaturen hierbei einen Unterschied herbeiführen, indem der Gang der Erkaltung, welcher für geringere Temperaturen der schnellste ist, in höhern der langsamste wird. In der gegebenen Uebersicht nehmen die in der vierten Columne enthaltenen Verhältnisse ab, wie die Temperaturen höher

1 Dieses Resultat ist auffallend. Zwar beschränken die Beobachter diesen Satz bloſs auf die geringen Massen, womit sie experimentirten, übrigens aber ist bekannt, daſs bei Flüssigkeiten im Zustande der Ruhe, besonders bei Wasser, die wärmeren Theile stets emporsteigen, die kälteren herabsinken, worauf namentlich die Versuche zur Auffindung des Maximums der Dichtigkeit beruhn. §. 479.

werden, für noch höhere Temperaturen würden sie aber wieder wachsen, und da alle Gröſsen, welche im Fortschreiten ihr Zeichen ändern, in einem gewissen nicht groſsen Umfange sich nahe gleich bleiben, so finden sie hierin den Grund des Irrthums, wozu LESLIE verleitet wurde, und verkennen dabei zugleich nicht, daſs dieses ein sehr bedeutender Punct ist, welcher bei der Feststellung der Erkaltungsgesetze Berücksichtigung verdient. Als sie darauf vergleichende Versuche mit zinnernen Gefäſsen von gleichem Inhalte, aber verschiedener Form anstellten, ergab sich ein bei allen gleiches Verhältniſs des Erkaltens. Durch diese vorläufigen Versuche war also ausgemacht, daſs das Gesetz des Erkaltens der Flüssigkeiten, obgleich mit der einschlieſsenden Hülle wechselnd, dennoch von der Natur der Flüssigkeit und der Form der Gefäſse unabhängig sey.

243) Um den Gang des Erkaltens zu messen, bedienten sich DULONG und PETIT zweier Thermometer, deren eins eine Kugel von etwa 2, das andere aber von etwa 6 Centimeter Durchmesser hatte, beide sehr genau und von der Kugel bis zum Anfange der Scale mit einem sehr engen Zwischenröhrchen versehn; das kleinere diente für höhere, das gröſsere für niedrigere Temperaturen, die Vergleichung beider gab aber das Gesetz des Erkaltens. Der Umfang der Versuche erforderte eine eigens hierfür hergestellte Vorrichtung. Die Hülle, in welcher die Abkühlung statt fand, war ein Ballon M′M′M″M″ Fig.
von Kupferblech, ungefähr 3 Decimeter im Durchmesser hal- 49.
tend, dessen oberer Rand eben geschliffen war. Derselbe wurde bis an den Hals in ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes hölzernes Gefäſs getaucht und in seiner Stellung durch die starken Holzstäbe RR′, RR′ festgehalten. Im Innern war der Ballon mit Lampenruſs geschwärzt, um Rückstrahlung zu hindern und zu bewirken, daſs alle erhaltene Wärme an das umgebende Wasser überging. Sollte letzteres erwärmt werden, so geschah dieses mittelst Wasserdampf, welchen das Rohr V zuführte. Die Oeffnung des Ballons wurde durch eine dicke, genau aufgeschliffene Glasplatte AB mittelst etwas Pomade luftdicht verschlossen, durch deren Mitte das eingekittete oder vermittelst eines Korkes eingesteckte Thermometer mit seiner Kugel bis genau in die Mitte des Ballons herabging. Ueber die Scale des Thermometers wurde ein mit seinem untern dicken Rande auf die Glasplatte AB aufgeschliffener

gläserner Cylinder gestürzt, dessen oberes Ende mit einer Fassung und einem Hahn versehn, zugleich aber mit dem biegsamen Bleirohre ET verbunden war. Das Ende des letztere liefs sich in den Teller einer Luftpumpe HK schrauben, un eine Barometerröhre diente zugleich, den Luftdruck in de Kugel zu bestimmen. Ein Hahn T' war bestimmt, die Verbindung mit dem Glasrohre m'm, worin sich Chlorcalcium befand, herzustellen, die Campane V aber, in eine pneumatisch Wanne gesenkt, diente dazu, verschiedene Gasarten in den vorher exantlirten Ballon zu bringen. Das Thermometer wurd bis nahe zum Siedepuncte des Quecksilbers erhitzt und sofo in den Ballon gesenkt. Sollten dann die Beobachtungen i Guericke'schen Vacuum oder in atmosphärischer Luft gemach werden, so gingen die Vorbereitungen so schnell von statte dafs das Thermometer nur bis 300° herabging, das Zulasse von Gasarten erforderte aber mehr Zeit und die Beobachtungen konnten daher erst bei 250° C. beginnen; die Zeiten wurden vermittelst einer Secundenuhr gemessen, mufsten dann abe corrigirt werden, und zwar zuerst wegen der Abkühlung de Scale des Thermometers, die sehr bald die Temperatur de äufsern Luft annahm, und dann wegen der ungleichmäfsige Ausdehnung des Quecksilbers, wonach eine Reduction auf da Luftthermometer erforderlich war. Waren demnächst die Zeiten des Erkaltens und die ihnen zugehörigen Temperature gefunden, so theilten die Beobachter jede Reihe in zwe Theile, und berechneten jede nach der Formel $m^{\alpha t + \beta t^2}$, wori t die Zeit t bezeichnen, wobei jedoch eine Correction erforderlich war, die ihrer Geringfügigkeit ungeachtet doch nicht vernachlässigt werden durfte, nämlich die durch das Herabsinken des kälteren Quecksilbers aus der Scale in die Kugel entspringende. Endlich mufste das ungleiche Strahlungsvermögen der Oberfläche des erkaltenden Körpers berücksichtigt werden, und zugleich durfte ihre Beschaffenheit sich während der Dauer des Versuches nicht ändern. Hierfür schien ihnen Glas als am meisten und Silber als am wenigsten ausstrahlend am geeignetsten zu seyn, und sie liefsen daher die Kugel ihrer Thermometer entweder nackt oder überzogen sie mit einer dünnen Lage Silber, in der Erwartung, dafs die hiermit gefundenen Gesetze auf alle andere Körper anwendbar seyn würden.

Bei der Untersuchung der *Abkühlung im Vacuum* bedurften die gefundenen Werthe einer Correction, welche zwar geringfügig ist, aber doch nicht zu vernachlässigen schien, nämlich die aus dem zurückbleibenden Antheile von Luft entspringende. Es war leicht, diese Gröſse aufzufinden, da die Verdünnung in der Regel bis 2 Millim. hergestellt wurde; denn aus der Vergleichung der in verschieden dichter Luft erhaltenen Werthe ergab sich der Einfluſs der Luft überhaupt und konnte dann für den jederzeit bei den Versuchen noch vorhandenen geringen Antheil abgezogen werden, vorzüglich da dieser Einfluſs ein einfaches Gesetz befolgte.

244) Wenn das Erkalten eines Körpers im Vacuum durch Strahlung bloſs vom Ueberschusse seiner Temperatur über die das Vacuum einschlieſsende Hülle abhinge, so würde folgende Betrachtung zur Auffindung eines allgemeinen Gesetzes führen. Hieſse Θ die Temperatur der einschlieſsenden Hülle, $t+\Theta$ die des erkaltenden Körpers, die Geschwindigkeit der Abkühlung V (wobei $V=0$ für $t=0$ werden müſste), so wäre

$$V = F(t+\Theta) - F(\Theta),$$

worin F die unbekannte Function der absoluten Temperatur bezeichnet, welche das Gesetz der Strahlung darstellt. Wären dann die Functionen $F(t+\Theta)$ und $F(\Theta)$ den veränderlichen Gröſsen direct proportional, so würden sie die Form $m(t+\Theta)$ und $m(\Theta)$ erhalten und die Geschwindigkeit der Abkühlung wäre mt. Dieses gäbe das *Richmann'sche Gesetz*, wonach die Geschwindigkeit der Abkühlung dem Ueberschusse der Temperatur des erkaltenden Körpers über die den Raum einschlieſsende Hülle direct proportional ist, und einige Versuche würden hinreichen, den beständigen Coefficienten m auszumitteln; allein die Versuche ergaben, daſs jenes Gesetz nicht für alle Temperaturen gültig ist, wie man bis dahin voraussetzte. Hiernach hängt also jene Function sowohl von dem Ueberschusse der Temperatur des erkaltenden Körpers über die den Raum umgebende Hülle ab, als auch von der absoluten Temperatur der letzteren, also von Θ. Um dieses auszumitteln, erhielten sie das die kupferne Kugel umgebende Wasser bei Temperaturen, die um 20° C. verschieden waren und während der Dauer der Beobachtungen unverändert blieben. Die hierbei beobachteten Geschwindigkeiten des Erkaltens $= V$ sind in der folgenden Uebersicht enthalten.

t	V bei 0°	V' bei 20°	V'' bei 40°	V''' bei 60°	V^iv bei 80°
240°	10°,69	12°,40	14°,35	—	—
220	8,81	10,41	11,98	—	—
200	7,40	8,58	10,01	11,64	13°,45
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	2,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,18
60	—	1,40	1,62	1,88	2,17

Sucht man für die einzelnen Glieder dieser Columnen die Werthe von $\frac{V'}{V}$, $\frac{V''}{V'}$ u. s. w., so liegen diese Quotienten zwischen 1,15 und 1,18, wodurch also folgendes Gesetz begründet wird: *die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Thermometers im Vacuum für einen beständigen Unterschied der Temperatur wächst im geometrischen Verhältnisse, wenn die Temperatur der Umgebung in einem arithmetischen Verhältnisse zunimmt, und jene geometrische Progression ist die nämliche, wie auch der Unterschied beider Temperaturen seyn mag.* Hiernach läſst sich also die oben aufgestellte Formel für die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum, nämlich

$$F(t+\Theta)-F(\Theta),$$

auf den einfachen Ausdruck

$$\varphi(t)\times a^{\Theta}$$

zurückbringen, worin a eine beständige Gröſse und $\varphi(t)$ eine Function der veränderlichen Gröſse t ist, welche näher bestimmt werden muſs. Aus der Gleichheit beider Functionen folgt

$$\frac{F(t+\Theta)-F(\Theta)}{a^{\Theta}}=\varphi(t).$$

Dieses in eine Reihe entwickelt giebt:

$$\varphi(t)=t\,\frac{F'(\Theta)}{a^{\Theta}}+\frac{t^2}{2}\cdot\frac{F''(\Theta)}{a^{\Theta}}+\frac{t^3}{2.3}\cdot\frac{F'''(\Theta)}{a^{\Theta}}+\ldots.$$

und da diese Gleichung für alle Werthe von t gültig seyn muſs, so erhält man

$$F'(\Theta)=n.a^{\Theta},$$

worin n eine unbestimmte Zahl bezeichnet. Hieraus ergiebt sich

$$F(\Theta) = m.a^{\Theta} + \text{einer Constante.}$$

Wird dann der Kürze wegen $\frac{n}{\text{Log. a}} = m$ gesetzt, so ist

$$F(t+\Theta) = m.a^{t+\Theta} + \text{einer constanten Gröſse.}$$

Hieraus folgt endlich für den Werth der Geschwindigkeit

$$V = m.a^{\Theta}(a^t - 1)$$

als der Ausdruck der Geschwindigkeit der Abkühlung im Vacuum. Bleibt Θ unverändert, so ist dieses auf gleiche Weise der Fall bei ma^{Θ}. Wenn also ein Körper im Vacuum erkaltet und die umgebende Hülle ihre Temperatur nicht ändert, so wächst die Geschwindigkeit des Erkaltens für die in arithmetischer Progression steigenden Temperaturen in einer geometrischen Reihe. Das Verhältniſs von a für diese Progression ist aus den Beobachtungen leicht aufzufinden, denn wenn nach der mitgetheilten Tabelle der Werth von Θ um 20° C. wächst, t aber sich gleich bleibt, so geben die gesammten Quotienten $\frac{V'}{V}, \frac{V''}{V'} \ldots$, die zwischen 1,15 und 1,18 fallen, im Mittel 1,165, und man erhält also

$$a = \sqrt[20]{1,165} = 1,0077.$$

Dulong und Petit haben nach dieser Formel die beobachteten Gröſsen berechnet, wobei $m.a^{\Theta}$ für jede Reihe einen verschiedenen Werth erhalten muſs. Für die erste Reihe, worin $\Theta = 0$ war, ist $a = 1,0077$ und $m.a^{\Theta} = 2,037$, also

$$V = 2,037\,(a^t - 1);$$

für die zweite Reihe, worin $\Theta = 20$ war, muſs der eben genannte Coefficient mit $a^{20} = 1,165$ multiplicirt werden, und man hat

$$V = 2,374\,(a^t - 1).$$

Wird dieser Coefficient wieder mit 1,165 multiplicirt, so erhält man für die dritte Reihe

$$V = 2,766\,(a^t - 1)$$

und so fort für die folgenden

$$V = 3{,}222\,(a^t - 1)$$

und

$$V = 3{,}754\,(a^t - 1).$$

Die auf diese Weise durch Rechnung gefundenen Werthe stimmen mit den beobachteten so genau überein, als die Fehlergrenze bei solchen Versuchen gestattet, wie folgende Zusammenstellung der ersten Reihe zeigt:

10,69; 8,81; 7,40; 6,10; 4,89; 3,88; 3,02; 2,30; 1,74.
10,68; 8,89; 7,34; 6,03; 4,87; 3,89; 3,05; 2,33; 1,72.

245) Hiernächst wurden einige Beobachtungsreihen angestellt, wobei die Thermometerkugel übersilbert war. Es zeigte sich bald, dafs hierbei das nämliche Gesetz statt fand und daher die erhaltenen Gröfsen nach der nämlichen Formel berechnet werden konnten, wobei a seinen Werth behielt, m aber $= 0{,}357$ gefunden wurde, also $ma^{\Theta} = 0{,}416$, weil $\Theta = 20°$ war. Die Berechnung nach der Formel

$$V = 0{,}416\,(a^t - 1)$$

angestellt gab die folgenden, mit den beobachteten zusammengestellten Werthe für die Temperaturunterschiede der Thermometer und der umgebenden Hülle $= t$.

Werthe von t	V beobachtet	V berechnet
280°	3°,05	3°11
260	2,59	2,61
240	2,18	2,18
220	1,83	1,81
200	1,53	1,50
180	1,26	1,23
160	1,02	1,00
140	0,81	0,80
120	0,62	0,62
100	0,47	0,48
80	0,34	0,35
60	0,24	0,24
40	0,15	0,15
20	0,07	0,07

Für eine folgende Reihe, wobei $\Theta = 80$ war, mufste der eben gefundene Coefficient mit a^{60} multiplicirt werden; es wurde daher

$$V = 0{,}658\,(a^t - 1),$$

und auch hierbei zeigte sich eine gleiche Uebereinstimmung der beobachteten und der durch Rechnung gefundenen Werthe.

Die Resultate der Beobachtungen lassen sich also durch die einfache Formel

$$V = M\,(a^t - 1)$$

ausdrücken, wenn man $M = m\,a^{\Theta}$ setzt. Indem aber a von der Beschaffenheit der Oberfläche unabhängig ist, so folgt hieraus, dafs das Gesetz des Erkaltens im Vacuum für alle Körper dasselbe ist und also das Strahlungsvermögen der verschiedensten Substanzen in allen Temperaturen das nämliche Verhältnifs beibehält, während die Geschwindigkeit des Erkaltens durch das ungleiche Strahlungsvermögen der Oberfläche bedingt wird. Für Glas und Silber fanden Dulong und Petit dieses Verhältnifs = 5,7, etwas geringer als Leslie, vermuthlich deswegen, weil die von ihnen angewandte silberne Oberfläche gefirnifst war.

Aus dem für die Geschwindigkeit des Erkaltens gefundenen Ausdrucke läfst sich leicht das Verhältnifs zwischen den Temperaturen und den Zeiten herleiten. Heifst die Zeit x, so hat man

$$V = -\frac{\partial t}{\partial x} = M\,(a^t - 1),\ \text{also}\ \partial x = \frac{-\partial t}{M\,(a^t - 1)}$$

und

$$x = \frac{1}{M.\mathrm{Log.}\,a}\left(\mathrm{Log.}\,\frac{a^t - 1}{a^t}\right) + C,$$

worin M und die Constante bestimmt werden können, wenn man die beobachteten Werthe von t hat, welche zwei bekannten Werthen der Zeit x zugehören. Wird hierin t so klein genommen, dafs bei der Kleinheit des Log. a man sich mit dem ersten Gliede der für a^t zu entwickelnden Reihe begnügen kann, so erhält man das Newton'sche Gesetz.

246) Die nächste Aufgabe war, den Einflufs auszumitteln, welchen die verschiedenen *umgebenden Medien* auf das Erkalten äufsern. Um den Einflufs der Gase unter verschiedenem Drucke und von ungleichen Temperaturen zu finden, war blofs

erforderlich, die Gröfse der durch die Strahlung allein oder di Strahlung im Vacuum abgegebenen Wärme von den bei de Anwesenheit einer Gasart beobachteten Werthen abzuziehn was jedoch, da sich die Untersuchung auf mehrere Gasarte erstreckte, eine grofse Menge Versuche erforderte, wobei di beobachteten Gröfsen auf die oben angegebene Weise berech net und aus mehreren Reihen die mittleren Werthe genomme wurden.

247) Zuerst mufste die Frage beantwortet werden, ob d Beschaffenheit der Oberfläche, welche auf das Strahlungsver mögen einen so bedeutenden Einflufs hat, diesen auch beim E kalten in verschiedenen Gasarten zeigt. Hierfür war erforde lich, die Erkaltung des nackten und bekleideten Thermomete in einer Gasart von bestimmter Dichtigkeit und Temperatur z beobachten. Von den vielen Versuchsreihen werden nur d zwei wichtigsten, die eine mit dem grofsen Thermometer, wel ches zuerst nackt, dann übersilbert angewandt wurde, in Lu unter 0,72 Met. Druck und bei 20° C. Wärme der Umge bung, die zweite mit dem kleinen Thermometer in Wasser stoffgas unter 0,74 Met. Druck und bei 20° C. Wärme d Umgebung angestellt, hier mitgetheilt, deren genaue Ueber einstimmung bei der so grofsen Verschiedenheit der Bedingun gen zu dem Schlusse berechtigt, *dafs der Verlust der Wärm welcher durch die Berührung irgend einer Gasart bewirk wird, unter übrigens gleichen Bedingungen von der Be schaffenheit der Oberfläche des erkaltenden Körpers ganz un abhängig ist.* Auf dieses wichtige Gesetz war Leslie zwa indirect gleichfalls geführt worden, allein ohne eigentlichen Bewei welcher obendrein mit seiner Hypothese nicht wohl vereinbar is wonach die Gase den Körpern Wärme theils durch ihre Lei tung, theils durch das Aufsteigen derselben und den hierau folgenden Zutritt stets neuer Theilchen zum erkaltenden Kör per entziehn.

In Gemäfsheit des angegebenen Gesetzes war nichts wei ter erforderlich, als die folgenden Versuche mit dem unbeklei deten Thermometer anzustellen, welches auch geschah; in de mitgetheilten Uebersichten ist aber blofs derjenige Antheil de Erkaltens, welcher durch den Einflufs der Gasarten bewirk wird, nach Abzug des durch die Strahlung erfolgenden, mit getheilt. Die erste Versuchsreihe bezog sich auf die Beant-

wortung der Frage, ob die Temperatur der Hülle einen Einfluſs auf die Geschwindigkeit des Erkaltens habe. Als daher die Erkaltung in Luft unter 0,72 Met. Druck von 20°, 40°, 60° und 80° C. untersucht wurde, zeigte sich, daſs die Geschwindigkeit des Erkaltens in allen vier Reihen sich gleich blieb, und ebendieses ergab sich, als vier gleiche Reihen von Beobachtungen mit Wasserstoffgas unter gleichem Drucke und bei den genannten ungleichen Temperaturen angestellt wurden. Nicht minder ergab sich dieses aus gleichen Versuchsreihen mit kohlensaurem Gas unter 0,72 Met. und mit Luft unter 0,36 Met. Druck, woraus das Gesetz folgt, *daſs die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Körpers, welche bloſs durch die Berührung des umgebenden Gases bewirkt wird, für gleiche Temperaturunterschiede abhängt von der Dichtigkeit und Temperatur des Gases; aber diese Abhängigkeit ist so, daſs die Geschwindigkeit des Erkaltens dieselbe bleibt, wenn die Dichtigkeit und Temperatur des Gases sich so ändern, daſs die Elasticität unverändert bleibt.* Hiernach hat man, wenn es sich darum handelt, die Abkühlung eines Körpers durch bloſsen Einfluſs der berührenden Gasarten zu bestimmen, nur die Elasticität der letzteren zu beachten, worauf sich dann die folgenden Versuche bezogen. Zuerst wurden solche mit atmosphärischer Luft angestellt, deren Elasticität 0,72, 0,36, 0,18, 0,09, 0,045 Met. betrug, also in der geometrischen Progression 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ abnahm. Die für die Geschwindigkeiten des Erkaltens durch bloſse Einwirkung der Luft = V, V′, V″... gefundenen Werthe enthält die folgende Tabelle.

Temperaturunterschiede	V = 0,72 M.	V′ = 0,36 M.	V″ = 0,18 M.	V‴ = 0,09 M.	V^{iv} = 0,045 M.
200°	5°,48	4°,01	2°,95	2°,20	1°,59
180	4,75	3,52	2,61	1,90	1,37
160	4,17	3,03	2,21	1,62	1,20
140	3,51	2,62	1,91	1,40	1,02
120	2,90	2,12	1,57	1,15	0,84
100	2,27	1,69	1,23	0,90	0,65
80	1,77	1,29	0,96	0,70	0,52
60	1,23	0,90	0,65	0,48	0,35
40	0,75				
20	0,32				

Die Quotienten, die durch die Division von $\frac{V}{V'}$, $\frac{V'}{V''}$ . . . . . erhalten werden, fallen zwischen 1,38 und 1,34, weshalb ihre Unterschiede innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenze liegen, was zu folgenden Schlüssen berechtigt: 1) *das Gesetz der Geschwindigkeit des Erkaltens eines Körpers durch die ihn berührende Luft bleibt für gleiche Temperaturunterschiede unverändert, wie verschieden auch die Dichtigkeit der Luft seyn mag;* 2) *wenn die Elasticität der Luft in einer geometrischen Reihe abnimmt, so nimmt ihr Abkühlungsvermögen gleichfalls in einer geometrischen Reihe ab, und zwar ist der Exponent des Verhältnisses bei jener Reihe* = 2, *bei dieser* (im Mittel aus allen zwischen 1,38 und 1,34 liegenden Gröfsen) = 1,366. Eben dieses Gesetz wurde bei Wasserstoffgas, Kohlensäureund ölerzeugendem Gas bestätig gefunden, es waren aber die Exponenten der Reihe für Luf = 1,366, für Wasserstoffgas = 1,301, für Kohlensäur = 1,431 und für ölerzeugendes Gas = 1,415. Das Ganze läfs sich leicht auf einen allgemeinen Ausdruck zurückbringen Heifst P die abkühlende Kraft einer Gasart unter dem Druck p, so erhält man für 2p die Gröfse P (1,366) und für 4p eben so $P(1,366)^2$, also für $p.2^n$ auch $P(1,366)^n$. Nennt ma daher $p.2^n = p'$ und $P(1,366)^n = P'$, so hat man

$$\frac{\text{Log.}\,P' - \text{Log.}\,P}{\text{Log.}\,(1,366)} = \frac{\text{Log.}\,p' - \text{Log.}\,p}{\text{Log.}\,2},$$

also

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{0,45};$$

der Exponent 0,45 ist aber nicht für alle Gasarten gleich, sondern wird für Wasserstoffgas = 0,38, für Kohlensäure = 0,51 und für ölerzeugendes Gas = 0,501. Die abkühlende Kra eines Gases ist daher in einem gewissen Verhältnisse seine Elasticität proportional, allein der Exponent dieses Verhältnisses ist bei verschiedenen Gasarten verschieden. Bei der Luf der Kohlensäure und dem ölerzeugenden Gas weicht er weni von 0,5 ab, was dahin führt, die abkühlende Kraft diese Gase der Quadratwurzel ihrer Elasticität proportional anzunehmen.

248) Die nächste Aufgabe war, die abkühlende Kraft de

verschiedenen Gase von gleicher Elasticität für gleiche Temperaturunterschiede zu untersuchen. Die bei 0,72 Met. Druck für die vier genannten Gasarten gefundenen Werthe der durch sie allein (ohne Einfluſs der Strahlung) bewirkten Abkühlungen zeigt folgende Tabelle.

Temperaturunterschiede	V für Luft	V' für Wasserstoffgas	V'' für Kohlensäure	V''' für ölerzeugendes Gas
200°	5°,48	—	5°,25	7°,41
180	4,75	16°,59	4,57	6,45
160	4,17	14,26	4,04	5,41
140	3,51	12,11	3,39	4,70
120	2,90	10,10	2,82	3,84
100	2,27	7,98	2,22	3,12
80	1,77	6,66	1,69	2,34

Die Quotienten von $\frac{V'}{V}$ schwanken zwischen 3,51 und 3,42, die von $\frac{V''}{V}$ zwischen 0,977 und 0,955 und die von $\frac{V'''}{V}$ zwischen 1,37 und 1,30, woraus sich ergiebt, daſs das Gesetz der durch die verschiedenen Gasarten für sich allein bewirkten Abkühlung von der Beschaffenheit und Dichtigkeit der Gasarten unabhängig ist. Da es sich aber darum handelte, dieses Gesetz zu bestimmen, so führten die verschiedenen Bemühungen zu dem Resultate, daſs die Abkühlung durch die Gase eine geometrische Reihe bildet, deren Exponent = 1,233 ist, wenn der Exponent der Reihe der Temperaturunterschiede = 2 ist. Wie genau hierbei Rechnungen und Beobachtungen übereinstimmen, zeigt folgende Zusammenstellung der erhaltenen Werthe für Luft unter 0,72 Met. Druck, worin t den Unterschied der Temperatur und V die Geschwindigkeit des Erkaltens bezeichnen.

t	V beobachtet	V berechnet	t	V beobachtet	V berechnet
200°	5°,48	5°,45	100°	2°,27	2°,31
180	4,75	4,78	80	1,77	1,76
160	4,17	4,14	60	1,23	1,24
140	3,51	3,51	40	0,77	0,75
120	2,90	2,91	20	0,33	0,32

Eine gleiche Uebereinstimmung zeigte sich bei den übrigen Gasarten.

249) Aus allen diesen Untersuchungen ergiebt sich daher dafs die Elasticität der Gasart und der Temperaturunterschied des erkaltenden Körpers und der Umgebung die einzigen Elemente sind, welche ein allgemeiner Ausdruck für die Geschwindigkeit des Erkaltens durch den blofsen Einflufs der umgebenden Gasart enthalten mufs. Nennt man die erstere p und den letzteren t, so folgt:

$$V = m . p^c . t^b,$$

worin b für alle Gasarten und alle Körper = 1,233, c für alle Körper gleich, aber für die einzelnen Gase verschieden, m nach der Natur der Gase und den Dimensionen der Körper veränderlich ist. Die bereits gefundenen Werthe von c sind für Luft = 0,45, für Wasserstoffgas 0,38, für Kohlensäure 0,517, für ölerzeugendes Gas 0,501 und die von m bei den von Dulong und Petit angewandten Thermometer für Luft = 0,00919, für Wasserstoffgas = 0,3318, für Kohlensäure = 0,00887, für ölerzeugendes Gas = 0,01227, wenn p in Metern und t in Centesimalgraden ausgedrückt werden.

250) Die Einfachheit dieses Ausdruckes erzeugte den Wunsch, die Gesetze der Abkühlung auch für höhere Temperaturen kennen zu lernen, und es schien hierfür das zuerst durch Leslie angewandte Verfahren am geeignetsten zu seyn. Wenn das Thermometer mit nackter Kugel in der Luft erkaltete, so war die ganze Geschwindigkeit die Summe der Wirkungen durch Strahlung und durch Berührung der Luft. Heifst die letztere v, die erstere v', so ist deren Summe = v + v'. Für das mit Silber bedeckte Thermometer war v gleichbleibend, v' aber wurde $\frac{v'}{5,707}$, weil die Strahlung des Glases zu

der des Silbers sich wie 5,707 zu 1 verhält. Bezeichnet man beide Geschwindigkeiten durch a und b, so ist

$$a = v + v', \quad b = v + \frac{v'}{5,707}, \quad \text{und } v = \frac{5,707 \times b - a}{5,707}.$$

Wird dieser Ausdruck auf die beobachteten Werthe angewandt, so giebt folgende Tabelle eine Uebersicht der Resultate.

t	V für die nackte Kugel	V für die versilberte Kugel	v
260°	24°,42	10°,96	8°,10
240	21,12	9,82	7,41
220	17,92	8,59	6,61
200	15,30	7,57	5,92
180	13,04	6,57	5,19
160	10,70	5,59	4,50
140	8,75	4,61	3,73
120	6,82	3,80	3,11
100	5,57	3,06	2,58
80	4,15	2,32	1,93

Die Werthe von v oder der Erkaltung, welche blofs durch die Berührung der Luft herbeigeführt wird, lassen sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$v = m t^{1,233},$$

worin m jedesmal besonders bestimmt werden mufs. Für die Beobachtungen mit der versilberten Kugel ist m = 0,00857 und die folgende Tabelle zeigt die genaue Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe von v.

t	v beobachtet	v berechnet	t	v beobachtet	v berechnet
260°	8°,10	8°,14	160°	4°,50	4°,47
240	7,41	7,38	140	3,73	3,79
220	6,61	6,63	120	3,11	3,14
200	5,92	5,87	100	2,53	2,50
180	5,19	5,17	80	1,93	1,90

Kennt man hiernach die durch Berührung der Luft bewirkte Abkühlung, so ist es leicht, die im Vacuum durch Strahlung erzeugte zu finden, wenn man von den beobachteten Werthen

die für v durch Rechnung erhaltenen abzieht. Als erläuterndes Beispiel mögen die mit der nackten Kugel erhaltenen Werthe dienen, wenn die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum durch die Formel

$$V = m(a^t - 1)$$

ausgedrückt wird, worin t den Unterschied der Temperaturen des Thermometers und der umgebenden Hülle, m einen beständigen, jederzeit zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet, welcher in diesem Falle = 2,61 ist, a aber den Exponenten = 1,0077 bezeichnet, welcher bei allen Körpern derselbe bleibt. Wie genaue Uebereinstimmung auf diese Weise erhalten wird, zeigt die nachfolgende Tabelle, worin V die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum, abgeleitet aus Beobachtungen in umgebender Luft, V' aber diese Geschwindigkeit durch Rechnung gefunden bezeichnet.

t	V	V'	t	V	V'
260°	16°,32	16°,40	160°	6°,20	6°,25
240	13,71	13,71	140	5,02	4,99
220	11,31	11,40	120	3,93	3,92
200	9,38	9,42	100	3,04	2,99
180	7,85	7,71	80	2,22	2,20

Die durch Strahlung und zugleich durch Berührung mit einer elastischen Flüssigkeit erzeugte Erkaltung eines Körpers läfst sich sonach durch folgenden Ausdruck darstellen:

$$v = m(a^t - 1) + n t^b,$$

worin für alle Körper und alle Flüssigkeiten a = 0,0077 und b = 1,233 sind; der Coefficient m hängt ab von der Gröfse und der Oberfläche des erkaltenden Körpers, so wie von der Beschaffenheit der umgebenden Gasart; der Exponent b, von der absoluten Temperatur und der Beschaffenheit des erkaltenden Körpers unabhängig, ist nach der Elasticität und der Beschaffenheit des umgebenden Gases, nach den bereits entwickelten Gesetzen, veränderlich. Wenn dieser Ausdruck durch die Beschaffenheit der Oberfläche des erkaltenden Körpers sich ändert, so behalten die Gröfsen a, b, n ihren Werth, m aber verändert sich dem Strahlungsvermögen der Oberfläche proportional. Wird es hierdurch = m', so wird

$$v = m'(a^t - 1) + nt^b.$$

Es sey zuerst m′ gröfser als m, also das Strahlungsvermögen gröfser, so wird das Verhältnifs

$$\frac{m(a^t - 1) + nt^b}{m'(a^t - 1) + nt^b} = \frac{m}{m'},$$

wenn $t = 0$ oder $t = \infty$ ist. Nimmt man t sehr klein an, so läfst sich die Gröfse $a^t - 1$ durch t.Log. a ausdrücken, und man erhält, wenn man durch t Log. a dividirt,

$$\frac{m + \frac{n}{Log.a} . t^b - 1}{m' + \frac{n}{Log.a} . t^b - 1},$$

welches Verhältnifs in dem Mafse abnimmt, als t wächst, wenn b gröfser ist als 1; allein nach der Abnahme wird es wieder wachsen, weil es der Einheit gleich den Werth wieder erhalten mufs, wie bei $t = 0$. Wenn man also die Gesetze des Erkaltens bei zwei Körpern von verschiedener Oberfläche mit einander vergleicht, so erfolgt das Erkalten in geringen Temperaturen schneller bei denjenigen Körpern, welche ein geringeres Strahlungsvermögen haben, aber weniger schnell bei diesen nämlichen Körpern in höheren Temperaturen. Dieses ergiebt sich leicht aus folgender Uebersicht, worin t die gewöhnliche Bedeutung hat, V die Geschwindigheit der Abkühlung des unbekleideten und V′ des versilberten bezeichnen.

t	V	V′	V : V′
260°	24°,42	10°,96	2°,23
240	21,12	9,82	2,15
220	17,92	8,59	2,09
200	15,30	7,57	2,02
180	13,04	6,57	1,98
160	10,70	5,59	1,91
140	8,75	4,61	1,89
120	6,82	3,80	1,80
100	5,56	3,06	1,81
80	4,15	2,32	1,78
60	2,86	1,60	1,79
40	1,74	0,96	1,81
20	0,77	0,42	1,85
10	0,37	0,19	1,90

Für die Temperaturunterschiede von 40° bis 120° sind die Verhältnisse fast gleich, was Dalton veranlaſste, das Gesetz des Erkaltens in der Luft bei allen Körpern als gleich anzunehmen. Würde die Reihe bis zu höheren Temperaturen weiter fortgesetzt, die für 260° schon 2,23 erreicht, so würde sie sich bald der Gröſse 5,705 nähern, der das Verhältniſs $\frac{m}{m}$, in dem Falle gleich ist, wenn Glas mit Silber verglichen wird.

251) Noch bleibt zu untersuchen, wie sich das Gesetz des Erkaltens für den nämlichen Körper mit der Natur und Dichtigkeit der Gase ändert. Wenn man den Ausdruck

$$m(a^t-1) + nt^b$$

nimmt und ihn auf ein anderes Gas oder auf dasselbe bei verschiedener Elasticität anwendet, so verwandelt er sich in

$$m(a^t-1) + n't^b,$$

worin bloſs n einen andern Werth erhält. Die Vergleichung beider Ausdrücke zeigt, daſs das Verhältniſs der Einheit gleich kommt, wenn wir t = 0 oder t = x machen. Die gesammte Geschwindigkeit des Erkaltens in verschiedenen Gasen nähert sich also der Gleichheit in sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen, kann aber in den zwischenliegenden sehr verschieden seyn.

252) Dulong und Petit geben noch zuletzt eine Uebersicht aller durch ihre Versuche gefundenen Resultate, mit dem Bemerken, daſs unter Geschwindigkeit des Abkühlens stets die Zahl der Thermometergrade zu verstehn sey, um welche die Temperatur des Körpers während eines unendlich kleinen und gleichbleibenden Zeitintervalls herabsinken würde. Hiernach stellen sie folgende Gesetze auf: 1) Wäre ein im Vacuum befindlicher Körper von einer aller Wärme beraubten und gar nicht strahlenden Hülle umgeben, so würden die Geschwindigkeiten des Erkaltens in einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Temperaturen sich in einer arithmetischen verringerten. 2) Wenn die Temperatur des einschlieſsenden Vacuums constant bliebe, so würde die Geschwindigkeit des Erkaltens für die in arithmetischer Progression abnehmenden

Temperaturen sich vermindern, wie die Glieder einer geometrischen Reihe weniger einer beständigen Gröfse. Der Exponent dieser Reihe ist für alle Körper = 1,0077. 3) Die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum für gleiche Temperaturunterschiede wächst in einer geometrischen Progression, wenn die Temperatur des Vacuums in einer arithmetischen Progression wächst; der Exponent dieses Verhältnisses ist gleichfalls = 1,0077 für alle Körper. 4) Die Geschwindigkeit der blofs durch Berührung der Luft erzeugten Erkaltung ist von der Oberfläche der Körper unabhängig. 5) Die Geschwindigkeit der blofs durch die Berührung der Luft erzeugten Abkühlung bildet eine geometrische Progression, wenn die Temperaturunterschiede gleichfalls eine geometrische Reihe bilden, und wenn der Exponent dieser letzteren = 2 ist, so ist der der ersteren = 2,35 unabhängig von der Natur und Elasticität des Gases. Dieses Gesetz kann auch so ausgedrückt werden, dafs die Quantität der durch eine Gasart fortgeführten Wärme in allen Fällen dem Unterschiede der Temperatur proportional ist, erhoben auf eine Potenz, deren Exponent = 1,233 ist. 6) Die abkühlende Kraft einer Gasart nimmt ab in einer geometrischen Reihe, wenn die Elasticität derselben in einer geometrischen Reihe abnimmt. Ist der Exponent dieser letzteren = 2, so ist der der ersteren = 1,366 für Luft; = 1,301 für Wasserstoffgas; = 1,431 für Kohlensäure und = 1,415 für ölerzeugendes Gas. Dieses Gesetz kann auch so ausgedrückt werden: die abkühlende Kraft eines Gases ist unter übrigens gleichen Bedingungen einer gewissen Potenz der Spannung proportional, deren Exponent von der Natur des Gases abhängt und für Luft = 0,45; für Hydrogen = 0,315; für Kohlensäure = 0,517 und für ölerzeugendes Gas = 0,501 ist. 7) Die abkühlende Kraft eines Gases verändert sich mit der Temperatur auf eine solche Weise, dafs, wenn dasselbe sich ausdehnen kann und stets die nämliche Spannung beibehält, die abkühlende Kraft um ebenso viel durch die Verdünnung des Gases vermindert, als durch die Vermehrung der Temperatur vergröfsert wird, so dafs sie gänzlich von seiner Spannung abhängt. Mit diesen Resultaten stimmen im Ganzen diejenigen genau überein, welche Dalton[1] erhalten hat, und auch die von H.

1 Neues System. Th. I. S. 114.

DAVY[1] gefundenen, wonach das Erkalten am langsamsten im Chlorgas erfolgt.

253) Die gehaltreichsten Versuche über die Erkaltung der Körper sind die von G. BISCHOF[2], die um so mehr allgemeine Anerkennung verdienen, je gröſser die darauf verwandte Mühe war, und weil es nur wenigen Forschern möglich seyn dürfte, solche groſsartige Mittel in Anwendung zu bringen, als hierbei durch die freundliche Mitwirkung des Hütteninspectors ALTHANS zu Gebote standen, welcher den Guſs der zu den Versuchen dienenden Basaltkugeln besorgte. In einem 1,5 Z. dicken, durch Eisendraht zusammengehaltenen Lehmmantel wurde eine Basaltkugel von 21 Zoll rhein. Durchmesser gegossen und nach dem Erstarren in einen Trichter von Eisenblech gelegt, welcher in einem guſseisernen, auf zwei Unterlagen festliegenden Ringe ruhte. So viel als möglich wurde dafür gesorgt, daſs die Kugel mit ihrem Lehmmantel nach allen Seiten frei und während der langen Dauer der Beobachtungen stets gleichmäſsig ausstrahlte. Nach 5,75 Stunden war die Oberfläche noch so heiſs, daſs Blei darauf schmolz; nach 8 Stunden war sie bis 240° R. herabgekommen, von wo aus die Beobachtungen anfingen und bis fast zum gänzlichen Erkalten fortdauerten. In den Mantel war nämlich eine kleine Vertiefung gemacht, in welche die Thermometerkugel gesenkt, mit etwas Messingfeilicht zur besseren Leitung umgeben und mit Sand bedeckt wurde. Um das Verhältniſs der Abkühlung im Innern und auf der Oberfläche zu vergleichen, wurden zwei Löcher hineingebohrt, allein dieses war bei der heiſsen Masse zu schwierig; die hierauf bezüglichen Beobachtungen sind nicht genügend, und stimmen daher mit denen nicht überein, die eine später verfertigte noch gröſsere Kugel mit eingegossenen Löchern gab. Die Beobachtungen begannen am 30sten Dec. um 8 Uhr Abends und endigten am 4ten Jan. Mittags 12 Uhr.

254) Um das Gesetz der Abkühlung zu finden, können die Thermometerstände in Zeiträumen von 12 zu 12 Stunden dienen, indem die Temperatur der Umgebung während der ganzen Dauer von 9°,6 bis 5°,2 R. herabging. Es war, wenn

1 Schweigger's Journ. Th. XX. S. 153.

2 Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers u. s. w. Leipz. 1837. S. 443 ff.

T, T', T''.... die Temperaturen der Kugeloberfläche, t, t', t''..... die der Umgebung bezeichnen, vom 30sten Dec. 8^h Morgens bis 2ten Jan. 8^h Nachmittags

$$\frac{T - t}{T' - t'} = \frac{230,4}{106,55} = 2,16237$$

$$\frac{T' - t'}{T'' - t''} = \frac{106,55}{48} = 2,21979$$

$$\frac{T'' - t''}{T''' - t'''} = \frac{48}{23,2} = 2,06897$$

$$\frac{T''' - t'''}{T^{iv} - t^{iv}} = \frac{23,2}{10,55} = 2,19905$$

$$\frac{T^{iv} - t^{iv}}{T^{v} - t^{v}} = \frac{10,55}{5,2} = 2,02885$$

$$\frac{T^{v} - t^{v}}{T^{vi} - t^{vi}} = \frac{5,2}{2,35} = 2,21277.$$

Das arithmetische Mittel aus diesen 6 Werthen ist 2,14863. Werden hiernach die Beobachtungen berechnet, so erhält man folgende Werthe:

Zeit				$T_o - t_o$ beob-achtet	$T_o - t_o$ berech-net
30.	December	8	Uhr Abends	230°,40	230°,40
31.	—	8	— Morgens	106,55	107,23
31.	—	8	— Abends	48,00	49,91
1.	Januar	8	— Morgens	23,20	23,23
1.	—	8	— Abends	10,55	10,81
2.	—	8	— Morgens	5,20	5,03
2.	—	8	— Abends	2,35	2,34

Da diese Versuche mit einem so grofsen Körper, als sonst niemals angestellt worden sind, so ist es sehr wichtig, NEWTON's Gesetz, wonach für eine arithmetische Reihe der Zeiten die Abkühlungen in einer geometrischen Reihe erfolgen, für Körper, bei denen Wärme aus dem Innern zur Oberfläche geleitet wird, bestätigt zu finden[1]. Bezeichnet V die Abkühlungsgeschwin-

1 Alle übrige bisher erwähnte Versuche, aufser die von New-

digkeit, T den Temperaturüberschufs und q den Erkaltungsexponenten für irgend eine Zeiteinheit, so ist nach Newton:

$$V = T\left(1 - \frac{1}{q}\right),$$

dieselbe Elasticität und Gasart vorausgesetzt. Hiernach ist dann

$$V : V' = T : T'$$

oder die Erkaltungsgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Temperaturüberschüsse. Versuche mit zwei andern Basaltkugeln, deren eine 27,27 Zoll rhein., die andere 9,39 Zoll im Durchmesser hatten, bestätigten dieses, und gaben aufserdem noch folgende Resultate: 1) die Abkühlungen beider Kugeln, in gleichen Zeiten und von gleichen Temperaturüberschüssen an gerechnet, verhalten sich genau umgekehrt wie die Durchmesser. 2) Die Zunahme der Temperatur in den erkaltenden Kugeln von aufsen nach innen gab keine arithmetische, sondern eine geometrische Progression. Bezeichnen a, b, c, d.... zu einer gewissen Zeit die Abkühlung in Puncten von der Oberfläche der Basaltkugel nach ihrem Mittelpuncte, deren Abstände eine arithmetische Reihe bilden, und ist e der Erkaltungsexponent für einen gewissen Zeitraum auf der Oberfläche, so scheinen die Temperaturüberschüsse in dem nfachen Zeitraume zu seyn:

$$\frac{a}{e^{n-1}};\quad \frac{b}{e^{n-1}\varepsilon^{n-1}};\quad \frac{c}{e^{n-1}\varepsilon^{2(n-1)}};\quad \frac{d}{e^{n-1}\varepsilon^{3(n-1)}} \ldots,$$

worin ε ein aus den Beobachtungen zu ermittelnder Coefficient ist. Bei der grofsen Basaltkugel z. B. wurden nach 48 Stunden beobachtet:

9 Zoll vom Mittelpuncte	109°,8 R.
6,75 - - — —	124,9
4,5 - - — —	136,0
im Mittelpuncte	153,5,

---

ton, hauptsächlich auch die von Dulong und Petit, wurden mit kleineren Körpern, namentlich mit Flüssigkeiten in Glaskugeln, angestellt, deren Theile sämmtlich von innen nach aufsen die nämliche Temperatur hatten. Auf diesem Umstande beruht vielleicht der Unterschied der erhaltenen Resultate.

ε war für den Zeitraum einer Stunde = 1,0409 und ι = 1,00067.

255) Die bisher erörterten Untersuchungen beziehen sich sämmtlich darauf, die Gesetze des Erkaltens der Körper sowohl an sich, als auch in Beziehung auf ihre Gröfse, die Beschaffenheit ihrer Oberfläche und den Einflufs der sie umgebenden elastischen Medien aufzufinden; es bleibt aber dabei noch eine andere Frage zu beantworten, nämlich die der Geschwindigkeit, in welcher Körper von verschiedener Natur ihre Wärme abgeben, oder über das specifische Erkaltungsvermögen ungleicher Körper. Bestimmungen hierüber können nicht anders erhalten werden, als wenn man gleich grofse Körper von gleicher Form erwärmt und die Zeiten des Erkaltens derselben unter gleichen Bedingungen nach Beobachtungen eines in sie eingesenkten Thermometers mifst. Diesemnach müssen diejenigen Versuche hier ausgeschlossen werden, die man als gleichfalls zur Wärmeleitung gehörig angestellt hat, indem erhitzte Thermometer mit verschiedenen Körpern umgeben und die ungleichen Zeiten ihres Erkaltens gemessen wurden.

256) Der Erste, welcher diese Aufgabe zu lösen versuchte, war Richmann[1]. Er nahm massive Kugeln, 4 Z. im Durchmesser haltend, von Blei, Zinn, Eisen, Kupfer und Messing, bohrte in diese ein cylindrisches Loch von 1 Z. Tiefe und 1 Z. Weite, senkte in dieses ein Thermometer, erhitzte die Kugeln, hing sie mit zwei Fäden an einen Querbalken, in einigem Abstande aber ein anderes Thermometer auf, und beobachtete bei ruhiger Luft die Zeiten des Erkaltens. Inzwischen gingen die Thermometer nicht bis in den Mittelpunct der Kugeln, die Oeffnungen waren zu weit, die Kugeln nicht gleich grofs, was durch Rechnung corrigirt werden sollte; die Versuche wurden nicht oft genug wiederholt, um zufällige Fehler auszumerzen, und sonach konnten die Resultate nicht befriedigend ausfallen. Auch Achard[2] untersuchte die ungleichen Erkaltungszeiten verschiedener Körper, allein diese seine Arbeiten sind durch spätere bessere in Schatten gestellt worden.

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. IV. p. 241. V. Crell neuestes chem. Archiv. Th. I. S. 242.

2 Mém. de Berlin. 1783.

Von weit gröſserem Werthe sind einige Versuche, welche Joh Tob. Mayer[1] mit Kugeln von Eben-, Eschen-, Apfelbaum-, Rothbuchen-, Weiſsbuchen-, Pflaumen-, Ulmen-Sommereichen-, Wintereichen-, Birnbaum-, Birken-, Forlen-Erlen-, Fichten-, Tannen- und Lindenholz anstellte. Sie hielten sämmtlich 2 Z. im Durchmesser, die Kugel des eingesenkten Thermometers befand sich im Mittelpuncte, der übrige Theil der Oeffnung wurde mit Sägemehl des nämlichen Holzes ausgefüllt und oben mit einem Korke verstopft, die Kugeln wurden in einem Ofenrohre bis 88° oder 94° C. erhitzt, in einem Zimmer von 6° bis 8°,5 Temperatur aufgehangen und die Thermometergrade von 56°,25 bis 37°,5 herab in bestimmten Zeitintervallen aufgeschrieben. Aehnliche Versuche stellte derselbe mit Wasser, Quecksilber, Leinöl und Essig an, die er in eine Glaskugel einschloſs und ein Thermometer einsenkte. Mayer folgerte aus allerdings sehr wahrscheinlichen theoretischen Gründen, daſs ein Körper seine Wärme um so schwerer verlieren werde, aus je mehr Wassertheilchen er besteht und je mehr Wärme diese vermöge ihrer specifischen Capacität enthalten, die sie eben deswegen auch um so stärker festhalten. Setzt man also das Wärmeleitungsvermögen der Zeit die sie zum Erkalten bedürfen, umgekehrt proportional, nennt dieses Vermögen L, das specifische Gewicht der Körper p und ihre Wärmecapacität c, so hat man

$$L = \frac{1}{pc}$$

für gleiche Volumina[2]. Da das specifische Gewicht der Körper sehr leicht genau bestimmbar ist, so kann diese Formel sowohl zur Auffindung des Erkaltungsvermögens, als auch der specifischen Wärmecapacität gebraucht werden. Mayer fand die Resultate seiner Versuche mit diesem Gesetze nahe übereinstimmend, und die wahrgenommenen Abweichungen lassen sich leicht erklären, wenn man berücksichtigt, daſs namentlich nach Dulong und Petit nicht bloſs die Beschaffenheit der

1 Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlangen 1791. V. Crell chem. Ann. 1798. Th. I. S. 443.

2 A. v. Humboldt hat hiernach Tabellen für die Leitungsfähigkeiten verschiedener Körper berechnet. S. v. Crell's chem. Ann. 1792. Th. I. S. 423. Bergmänn. Journ. 1792. Th. I. S. 120.

Oberfläche, sondern auch die Elasticität der umgebenden Luft auf die Zeit des Erkaltens einen bedeutenden Einfluſs ausüben.

257) Wenn ein Körper auf die bisher erörterte Weise erkaltet, so muſs seine Wärme nothwendig durch den ihn umgebenden Raum oder die in demselben sich befindenden Körper durchgehn, somit kommt also hier auf der einen Seite ebenso sehr das *Durchleitungsvermögen* seiner Umgebung in Betrachtung, welches später in einem eigenen Abschnitte untersucht werden soll, als das hier zu erörternde Strahlungsvermögen des Körpers, welcher die Wärme abgiebt, ja selbst das Fortleitungsvermögen seiner Umgebung kann nicht unberücksichtigt bleiben. Sofern hiernach eine scharfe Begrenzung nicht füglich erreichbar ist, mögen hier einige Versuche erwähnt werden, welche wohl mit gleichem Rechte unter die Abtheilung der Durchleitung zu bringen wären. Dahin gehören die von Pictet[1] mit einem sehr zusammengesetzten Apparate angestellten. Dieser bestand aus einer groſsen Glaskugel, welche vermittelst einer Luftpumpe exantlirt, zugleich aber mit trockner und feuchter Luft oder verschiedenen Gasarten angefüllt werden konnte. In dem Ballon befand sich ein empfindliches Thermometer, dessen Kugel das Centrum desselben einnahm, auſserdem ein Elektrometer, ein Saussure'sches Haarhygrometer und ein abgekürztes Heberbarometer. War der Apparat für den beabsichtigten Versuch gehörig hergerichtet, so lieſs Pictet die Strahlen einer Kerzenflamme vermittelst eines Hohlspiegels auf die Thermometerkugel fallen, erwärmte diese dadurch und beobachtete dann die Zeiten ihres Erkaltens unter den verschiedentlich abgeänderten Bedingungen, indem beiläufig auch die zum Erwärmen erforderlichen Zeiten berücksichtigt wurden. Der Einfluſs der mehrfachen mitwirkenden Bedingungen nimmt den erhaltenen Resultaten einen bedeutenden Theil ihres Werthes, weswegen ich mich einer näheren Erörterung derselben überhebe. Auch Leslie[2] hat die ungleichen Zeiten des Erkaltens in atmosphärischer Luft und in Wasserstoffgas, auch bei verschiedenen Dichtigkeiten dieser Gasarten untersucht; wichtiger aber ist dasjenige, was Dalton[3] aus eigenen Ver-

1 Versuch über das Feuer. Cap. IV. V. VI.

2 Inquiry into the nature of Heat. 1804.

3 Ein neues System des chem. Theils der Naturw. Th. I. S. 132.

suchen entnommen hat. Sein Apparat bestand aus einer starken Flasche von etwa 15 bis 20 Kubikzoll Inhalt, welche mi Luft oder der zu prüfenden Gasart gefüllt und gehörig verkork auf die Temperatur der Umgebung gebracht wurde. Alsdan ward der Kork herausgezogen und schnell ein anderer mit einem luftdicht in ihm steckenden, vorher erhitzten Thermometer hineingesteckt. Da es bloſs um vergleichbare Resultate zu thun war, so kamen die Thermometergrade selbst nicht in Betrachtung, sondern es waren auf der Röhre zwei Zeichen angebracht, und die Beobachtung beschränkte sich darauf, di Zeit zu messen, binnen welcher das Quecksilber vom ob ren Zeichen bis zum unteren sank. Diese betrug in Secunden für

kohlensaures Gas	112 Sec.
Schwefelwasserstoff-, oxydirtes Stick- und ölerzeugendes Gas	100 –
Luft, Stickgas, Sauerstoffgas	100 –
Salpetergas	90 –
kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas . .	70 –
Wasserstoffgas	40 –

Die schon von Leslie wahrgenommene starke Leitungskraft d Wasserstoffgases hielt auch Dalton für ebenso auffallend a räthselhaft; übrigens unterliegt dasselbe insofern der allgeme nen Regel, als es im verdünnteren Zustande ein schlechter Leiter wird, denn 7- bis 8mal verdünnt erforderte es 70 Se für die normale Abkühlung des Thermometers. War das G zur Hälfte mit Luft gemengt, so betrug die Zeit 62 Secunde Inwiefern die Verdichtung der Luft einen Einfluſs auf d Durchleitungsvermögen derselben ausübt, hat Dalton dur Versuche ermittelt, die folgende Resultate gaben:

Dichtigkeit	Abkühlungszeit	Dichtigkeit	Abkühlungszeit
2	85 Sec.	1/8	140 Sec.
1	100 –	1/16	160 –
1/2	116 –	1/32	170 –
1/4	128 –		

Dalton findet hieraus, daſs die nach Abzug der Strahlu durch bloſsen Einfluſs der Luft bewirkte Abkühlung den K

bikwurzeln der Dichtigkeiten proportional sey. Rechnet man für die erstere 0,4 und für die letztere 0,6 der gesammten Ableitung, die Dichtigkeit d der atmosphärischen Luft = 1 und die Zeit des Abkühlens = 100 angenommen, so wäre die Zeit

$$t = \frac{1}{0{,}004 \times 0{,}006 \times \sqrt[3]{d}},$$

womit die durch Versuche gefundenen Gröſsen sehr wohl übereinstimmen.

258) Vorzüglich gehören hierher die Versuche von Rumford[1], welcher ganz eigentlich die Eigenschaft der Körper, die Wärme durchzulassen, auf dem Wege der Erfahrung auszumitteln suchte. Er bediente sich hierzu einer 1,6 Z. im Durchmesser haltenden Glaskugel an einer 0,75 Z. weiten Röhre, durch welche die Kugel eines Thermometers[2] bis in die Mitte der kugelförmigen Erweiterung gebracht, mit der zu prüfenden Substanz umgeben und dann dessen Röhre mit geätzter Scale vermittelst eines Korkes befestigt wurde. In siedendem Wasser wurde die Kugel bis zur Siedehitze erwärmt, dann in durch Eis erkaltetes Wasser getaucht, und die Zeit, welche das Thermometer erforderte, um von 70° R. bis 10° R. herabzusinken, bestimmte die Leitungsfähigkeit der eingeschlossenen Substanz. Eine Umkehrung dieses Verfahrens bestand darin, die Kugel in Eiswasser zu erkälten und dann die Zeit zu bestimmen, die sie bedurfte, um in siedendem Wasser von 10° R. bis 70° R. erwärmt zu werden. Die auf die letztere Weise erhaltenen Resultate wollen wir ganz unberücksichtigt lassen, von den ersteren aber nur eine allgemeine Uebersicht geben. Die Zeiten des Erkaltens der eingeschlossenen Substanzen von 70° bis 10° R. waren in Secunden

---

1 New Experiments upon Heat, by Col. Sir Benj. Thomson. ond. 1786. 4. Philos. Trans. T. LXXVI. u. LXXVII. Ebend. T. XXXII. Jahr 1792. P. I. p. 48. Ueb. in Gren's Journ. Th. VII. S. 245. V. 314.

2 Rumford nennt ein solches Thermometer *Passage-Thermome-*; es ist aber unnöthig, hierfür eine besondere Bezeichnung festzusetzen.

für bloſse Luft	576	Sec.
– 16 Gran rohe Seide . . .	1248	—
– — Schafwolle . . .	1118	—
– — Baumwolle . . .	1046	—
– — feine ausgezupfte Leinwand	1032	—
– — Biberhaare . . .	1296	—
– — Hasenhaare . . .	1315	—
– — Eiderdaunen . . .	1305	—
– — zerzupften Taffent	1169	—
– — Nähseide	917	—
– — umwickeltes Wollengarn	934	—
– — umwickeltes Baumwollengarn . .	852	—
– — umwickeltes Leinengarn	873	—
– — umwickelte Leinwand	783	—
– 176 Gran pulverisirte Holzkohle	940	—
– 195 Gran Lampenruſs . .	1171	—
– 307 Gran trockne Holzasche	927	—
– 256 Gran semen Lycopodii .	1488	—

Rumford hat aus diesen Versuchen die Gesetze des Erkalten im Allgemeinen nicht weiter entwickelt, auch sind sie hierfü nicht mit der erforderlichen Berücksichtigung aller in Betrach kommenden Bedingungen angestellt, vielmehr ist bloſs die Fol gerung daraus abgeleitet, daſs Hasenhaare und rohe Seide a meisten warm halten, weil bei ihnen die längste Zeit erfor dert wurde, bis das eingeschlossene Thermometer erkaltete.

259) In gleicher Absicht, als welche die eben genannte Versuche veranlaſste, stellte auch Sennebier[1] eine groſse Re he an, indem er eine Thermometerkugel mit den verschiede nen zur Bekleidung dienenden Körpern umwickelte, bis 40° ((der Blutwärme) erhitzte, neben einem unbekleideten Thermo meter in kalter Luft aufhing und die Zeiten des Erkalten maſs. Die Resultate fallen nur zum Theil in den Bereich de

1 Mém. de l'Acad. de Turin. Ann. XIII., daraus in Gehlen's Journ für Chem., Phys. u. Min. Th. VII. S. 307.

vorliegenden Untersuchung und haben in dieser] Beziehung zu wenig Werth, um eine nähere Berücksichtigung zu verdienen.

260) Eine unglaubliche Menge Versuche über das Erkalten der verschiedenartigsten Körper in ruhiger Luft hat C. W. Boeckmann[1] angestellt. Hierzu bediente er sich sehr dünner Glaskugeln von nur etwa 0,1 bis 0,2 Lin. Glasdicke für Flüssigkeiten, Pulver und fadenartige Körper, die in dieselben eingeschlossen wurden; auf gleiche Weise liefs er aus den verschiedenartigsten Hölzern, Metallen und sonstigen starren Körpern gleichfalls Kugeln verfertigen, insgesammt einander an Gröfse gleich und zwar einen Zoll im Durchmesser haltend. Die Glaskugeln waren mit einer Röhre versehn, in die übrigen war ein cylindrisches Loch gebohrt, um die Kugel eines feinen Thermometers bis in den Mittelpunct einzubringen, dessen Röhre sich dann, bei den Glaskugeln durch einen Pfropfen, bei den übrigen durch einen ausgehöhlten Zapfen von der Masse der Kugeln, befestigen liefs, um die so vorgerichteten Apparate nach dem Erhitzen mittelst einer Schleife von dünnem Messingdraht an einem Gestelle zwischen zwei andern freien Thermometern zum Messen der äufseren Temperatur aufzuhängen. Die Beobachtung der Zeit des Erkaltens geschah für Temperaturverminderungen von 5° zu 5° R. an einem guten Chronometer, und es wurde dabei Sorge getragen, dafs sich die äufsere Temperatur während der ganzen Dauer nicht merklich änderte, die Erwärmung der Kugeln aber geschah durch Einsenken derselben in ein Gefäfs mit feinem Rheinsande, unter welchem eine Weingeistlampe brannte. Die erhaltenen Resultate könnten vielseitig zur Begründung der Erkaltungsgesetze benutzt werden, Boeckmann stellte die Versuche aber nur in der Absicht an, um aus der Zeitdauer des Herabgehens der Kugeln von einer höhern Temperatur zu einer niedrigern unter meistens gleichen Bedingungen die der erforderlichen Zeit umgekehrt proportionale *Wärmeleitung* der verschiedenen Substanzen zu ermitteln; auch sind die von ihm mitgetheilten Beobachtungen zu unvollkommen, als dafs man weitere Resultate, namentlich die specifischen Wärmecapacitäten der zahl-

1 Versuche über die Wärmeleitung verschiedener Körper. Carlsr. 1. 8.

reichen von ihm untersuchten Körper, aus ihnen ableiten könnte. Da es aber keinen anderweitigen gleich zahlreichen Bestimmungen der Erkaltungszeiten so vieler ungleicher, durch gleiche Gröſse aber vergleichbarer Körper giebt, die im Ganzen unter übrigens gleichen Bedingungen beobachtet wurden, so scheint es mir allerdings der Mühe werth, die Zeiten, in denen die Kugeln von 87°,5 bis 25° C. erkalteten, die in Secunden mittlerer Zeit gemessen wurden, und die daraus abgeleitete, der Zeit umgekehrt proportionale, auf Wismuth als Einheit reducirte Wärmeleitung tabellarisch zusammenzustellen.

Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung	Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung
Wismuth	1171	1,000	Hanfstengel . . .	740	1,570
Gold	2503	0,468	Mandelbaumholz	1198	0,978
Silber	2603	0,450	Saffranholz . . .	1249	0,937
Kupfer	3370	0,347	Apfelbaumholz .	1169	1,002
Messing	3446	0,340	Kampherbaumholz	939	1,247
Eisen	3599	0,325	gelbliches Eisenholz	1402	0,835
Blei	1360	0,861	braunes Eisenholz	1256	0,932
Zinn	1770	0,662	schwarzes Eisenholz	1557	0,752
Zink	2936	0,399	Buchenkohle . . .	964	1,215
Spieſsglanz . . .	1298	0,902	desgl. gepulvert .	847	1,383
Nickel	2812	0,416	Buchenasche . . .	892	1,313
Quecksilber . . .	1416	0,827	Unschlitt	2971	0,394
Zinn-Blei gl. Th.	1642	0,713	Wachs	3208	0,365
Blei-Kupfer gl. Th.	2561	0,457	Quecksilberoxyd	974	1,202
Wismuth-Kupfer	2317	0,505	Bärlapsamen . . .	1291	0,907
Letternmetall . .	1605	0,730	kohlensaures Natron	1141	1,026
Rose'sches Metall	1668	0,702	Colcothar	1914	0,611
Zinn-Zink gl. Th.	2383	0,498	schwarze Kreide	1660	0,706
Sandstein, röthlich	1588	0,737	weiſse Kreide . .	1262	0,927
grauer Kalk . . .	1946	0,602	weiſser Thon . .	1597	0,733
gelblicher Kalk .	1729	0,677	gebrannter Thon	1294	0,905
gebrannter Kalk .	746	1,570	gebrannter. glas.		
gelöschter Kalk .	1225	0,964	Thon	1322	0,886
Lindenholz . . .	1066	1,098	gelber gebrannter		
Buchenrinde . . .	1216	0,963	Töpferthon .	1155	1,013
Nuſsbaumholz . .	1007	1,163	römischer Backstein	1214	0,965
Kastanienholz . .	937	1,250	Dachschiefer . . .	1824	0,642
Pflaumenholz . .	1239	0,945	Bimsstein	801	1,469
Citronenholz . .	1428	0,820	Gyps	1635	0,716

Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung	Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung
gelber Oker . . .	1474	0,794	Buchenholz . . .	1099	1,066
gelber Bolus . . .	1486	0,720	Pappelholz . . .	1064	1,101
Röthel	1751	0,669	Rosenholz	1475	0,794
Tripel	936	1,251	Korkholz	1253	0,935
Molybdän	1818	0,644	Korkrinde	1026	1,141
Mörtel	1342	0,873	Forlenrinde . . .	860	1,362
Flufssand	1333	0,878	Hollundermark .	698	1,678
Eichenholzerde .	1117	1,048	Birnbaumrinde . .	1312	0,893
Schlammerde . .	1322	0,886	Eichenrinde . . .	1208	0,969
Gartenerde . . .	1177	0,995	Ahornholz	940	1,246
Moorerde	1138	1,029	Weinrebenholz .	1204	0,973
Braunsteinpulver	1657	0,707	spanisches Rohr	772	1,517
kohlens. Talkerde	1157	1,012	Nufsbaumrinde .	1153	1,015
calcin. Flufsspath–			blaues Brasilienholz	1277	0,917
pulver	1721	0,680	Pappelrinde . . .	986	1,188
Eisenblumen . . .	1296	0,904	Königsholz . . .	1273	0,920
Zucker	1236	0,947	Eichenholz . . .	1038	1,128
Bleiglätte	1133	1,034	Ebenholz	1630	0,718
Kupferblumen . .	1513	0,774	Birnbaumholz . .	1213	0,965
Zinkblumen . . .	954	1,228	Ulmenholz . . .	1259	0,930
Mennig	1066	1,099	Birkenholz . . .	1216	0,963
Bleiweifs	1190	0,984	Akazienholz . . .	1125	1,041
Salmiak	1886	0,621	Wacholderholz .	1069	1,095
Wismuthblumen	1124	1,042	Erlenholz	1136	1,031
Zinnober	1142	1,025	Leinöl	1758	0,666
Elfenbein	2470	0,474	rectificirtes Bergöl	1457	0,804
schwärzliches Horn	1981	0,591	salpetersaure Sil–		
Pappe	1190	0,984	bersolution . .	3018	0,388
weifse Schafwolle	1172	0,999	conc. Essigsäure	2344	0,500
schwarze Schafwolle	1087	1,077	Salzsäure	2603	0,450
Katzenhaar . . .	1024	1,144	Kochsalzsoole . .	3011	0,389
Coconseide . . .	1137	1,030	salzsaure Zinn–		
Eiderdaunen . . .	1213	0,965	solution	2860	0,410
Wasser	2829	0,414	Reisschleim . . .	3139	0,373
Mandelöl	1612	0,726	Luft	712	1,645
Terpentinöl . . .	1371	0,853	Pfeifenerde . . .	1587	0,738
venet. Terpentin	2274	0,515	weifser Gypsstein	1926	0,601
conc. Schwefelsäure	2135	0,548	Gufssand	1423	0,823
Salpetersäure . .	2835	0,413	Saalweidenholz .	845	1,386
weifses Glas . . .	1516	0,772	Taxusholz . . .	1169	1,002
ordenholz . . .	1213	0,965	Lerchenholz . . .	1052	1,113
Balsamfichtenholz	1135	1,031	Vogelbeerholz . .	1161	1,009

Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung	Substanzen	Zeit des Erkaltens	Leitung
Weidenholz . . .	938	1,248	Platanenholz, abendländisches . .	1394	0,840
Trauerweidenholz	1153	1,016	Weifstannenholz	1324	0,884
Zitterpappelholz	1153	1,016	americanisches Nufsbaumholz . . .	1210	0,869
schwarzes Pappelholz	1153	1,016	Mahagoniholz . .	1220	0,960
Platanenholz, orientalisches . . .	1286	0,911	Buchsbaumholz .	1308	0,895

261) Boeckmann benutzte seine Versuche noch zur Entscheidung anderweitiger, auf die Gesetze des Erkaltens sich beziehender Fragen, die wir hier noch kurz erwähnen wollen. Gleiche Kugeln von Gyps, die eine nackt, die andere in einer Glashülle, erkalteten in 1173 und 1132 Sec., wonach also das Ausstrahlungsvermögen beider nur wenig verschieden ist, gleiche Kugeln von Rose'schem Metall dagegen in 1668 und 1511 Sec. mit merklicher gröfserer Strahlung der Glashülle. Hiermit stimmt ein Resultat überein, welches Rumford[1] erhielt, indem er heifses Wasser in gleich grofsen gläsernen Flaschen und solchen von Weifsblech erkalten liefs und fand, dafs die ersteren ungeachtet ihrer sechsmal gröfseren Dicke der Wandungen dennoch früher erkalteten. Schneller Wechsel der Luft befördert das Erkalten ausnehmend, denn bei einer blanken Wismuthkugel verhielten sich die Zeiten der Abkühlung von 60° bis 30° R. in ruhiger und in stark bewegter Luft wie 509 zu 203 und bei einer geschwärzten wie 509 zu 213. Bischof fand in seinen (§. 253) erwähnten Versuchen mit ungleich grofsen Kugeln die Zeiten des Erkaltens den Durchmessern proportional, und ein ähnliches Resultat erhielt auch Boeckmann, jedoch mit einer sehr bedeutenden, nicht leicht zu erklärenden Fehlergrenze. Theoretisch richtig bemerkt er, dafs die Zeit des Erkaltens der Masse direct und der Oberfläche umgekehrt proportional seyn müsse, welches für die Durchmesser D und d das Verhältnifs $\frac{D^3}{D^2} : \frac{d^3}{d^2}$, also D:d giebt; e

1 Mém. de l'Institut. T. VI. p. 102.

erhielt aber die Erkaltungszeiten mit Kugeln von 2 und 1 Zoll Durchmesser von 60° bis 30° R. bei Wismuth = 2,35 : 1, bei Zink = 2,08 : 1, bei Hagebuchenholz = 2,59 : 1.

262) Die Versuche, welche mit gleich grofsen Kugeln des schnell erkaltenden Wismuths und des langsam erkaltenden Silbers angestellt wurden, bestätigen das früher hierüber Bekannte. Wird das Leitungsvermögen (oder die Strahlung) den Zeiten des Erkaltens umgekehrt proportional angenommen, so geben folgende Zahlen die Verhältnisse zuerst für Wismuth.

Polirte Wismuthkugel	1,000
mit schwarzem Tusch überzogen	1,225
mit reiner Goldschlägerhaut überzogen	1,174
dieselbe, den Ueberzug geschwärzt	1,196
dieselbe, mit weifser Farbe überzogen	1,180
mit Gummi befeuchtet und mit Wismuthfeilicht bestreut	1,132
mit Rauch geschwärzt	1,252
mit schwarzem Taffent überkleidet	1,146
mit weifsem Krepp überzogen	1,118
mit schwarzem Krepp überzogen	1,120
mit weifsem Taffent überkleidet	1,154
mit dichtem Musselin überzogen	1,129
mit weifsem Seidenpapier überzogen	1,232
dieses mit Tusch gefärbt	1,246
mit weifsem glasirten Handschuhleder bekleidet	0,957
durch Gummiwasser mit Flaumfedern bekleidet	0,926
mit weifsem Flanell überzogen	0,958

Verhältnisse für Silber.

Polirte Silberkugel	1,000
mit Tusch geschwärzt	1,426
durch Rauch geschwärzt	1,490
mit Goldschlägerhaut überzogen	1,487
letztere geschwärzt	1,436
mit schwarzer Seide überzogen	1,535
mit weifsem Seidenpapier überzogen	1,527
dieses geschwärzt	1,552

263) Noch verdienen die Versuche erwähnt zu werden, in denen Boeckmann[1] die Abkühlungszeiten durch Quecksilber, Wasser und Luft mit einander verglich. Hierbei wurden die erwärmten Kugeln in eine grofse Masse Wasser oder in eine Wanne, die etwa einen Centner Quecksilber enthielt, gesenkt oder in ruhiger Luft aufgehangen; alle drei Medien waren von 15°,7 R. Temperatur und das Quecksilber stieg um etwa 0°,4 bis 0°,7. Die Zeiten des Erkaltens von 60° bis 30° R. waren

Substanzen	Quecksilber		Wasser		Luft	
Eisen	7,3	Sec.	20,0	Sec.	1533	Sec.
Molybdän . . .	8,0	—	12,2	—	725	—
Wismuth . . .	8,6	—	15,0	—	509	—
Quecksilber . .	13,0	—	23,0	—	604	—
Nickel	25,5	—	25,8	—	1220	—
Kalkstein . . .	30,0	—	29,3	—	788	—
Sandstein . . .	31,0	—	31,0	—	679	—
Wasser . . .	40,5	—	61,3	—	1169	—
Kohle	44,3	—	159,2	—	357	—
glasirter Thon .	57,0	—	70,0	—	557	—
Bimsstein . . .	75,6	—	78,0	—	349	—
Buchenholz . .	77,0	—	142,0	—	414	—
Elfenbein . . .	107,0	—	144,3	—	982	—
Tannenholz . .	125,5	—	160,0	—	438	—
Mahagoniholz .	128,0	—	168,0	—	486	—
Korkholz . . .	182,0	—	383,0	—	461	—
Luft	244,2	—	244,5	—	317	—

Hierbei bezieht sich aber die Aufnahme der Wärme auf solche Körper, die mit den wärmeren in unmittelbare Berührung kommen; es sind daher nicht blofs diejenigen, welche Wärme abgeben, sondern zugleich auch diejenigen, welche sie aufnehmen, zu berücksichtigen, worüber später (§. 269) gehandelt werden wird; wir wollen indefs vorläufig einige hiermit zusammenhängende Erscheinungen hier kurz erörtern.

1 Schon früher hatte Richmann in Nov. Com. Petrop. T. III. p. 309 gefunden, dafs Quecksilber die Wärme leichter annehme und abgebe, als Wasser, ganz gegen die frühere Annahme, wonach dieses Vermögen der Dichtigkeit der Körper umgekehrt proportional seyn sollte.

264) Nobili und Melloni[1] fanden bei ihren früheren Untersuchungen, die zunächst dem *Wärmeabsorptionsvermögen* der verschiedenen Körper gewidmet waren, beiläufig, dafs Quecksilber die strahlende Wärme am besten reflectirt, dann Kupfer und die übrigen Metalle in der Ordnung, wie Leslie sie angiebt, ohne dafs die Politur einen so bedeutenden Einflufs ausübt, als man meistens annimmt; alle nichtmetallische Substanzen besitzen aber fast gar kein Reflexionsvermögen, wie auch ihre Oberflächen beschaffen seyn mögen. Die zur Auffindung des Absorptionsvermögens gewählte Methode dürfte nicht in jeder Hinsicht als die vorzüglichste gelten, weil die Resultate zugleich durch das Ausstrahlungsvermögen bedingt wurden, und sie steht daher weit hinter der zurück, welche Melloni später allein anwandte, wie in der Folge erwähnt werden soll. Sie bestand darin, dafs die zu untersuchenden Substanzen auf runde, an der Hinterseite mit einem Stiel versehene Scheiben von Weifsblech aufgeklebt, einige Augenblicke den Sonnenstrahlen ausgesetzt und dann der Vergleichung wegen paarweise den beiden Enden der thermoelektrischen Säule entgegengehalten wurden, um aus der Menge der dann abgegebenen Wärme auf die Quantität der absorbirten zu schliefsen; die Verwechselung der Scheiben gab zugleich eine Probe der Richtigkeit des gemessenen Unterschiedes. Es zeigten sich vorläufig stets gefurchte Metallscheiben wärmer, als glatte, und sie mufsten daher mehr Wärme absorbirt haben. Um den Einflufs der Farbe auszumitteln, wurden gleiche Scheiben paarweise mit allerlei Mineral- und Pflanzenfarben weifs und schwarz überzogen, andere mit Blättchen von Marmor oder Holz, Seiden-, Wollen- und Baumwollenstoffen, alle entweder von weifser oder schwarzer Farbe, belegt, und stets war die Absorption bei der schwarzen Farbe am stärksten. Sofern dieses ohne Rücksicht auf die sonstige Verschiedenheit der Stoffe statt fand, so berechtigt es zu dem Schlusse, dafs nicht die Natur derselben, sondern die Farbe sich hierbei wirksam zeigte. Um den Einflufs der Farbe und der Oberfläche auszuschliefsen, wurden weifse Zeuge von Baumwolle, Seide, Wolle, Hanf und Leinen von ganz gleichem Gewebe und Gleichheit

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Poggendorff's Ann. XVII. 451.

der Fäden mit Gummiwasser auf die Scheiben geklebt und die Versuche damit angestellt; ihr Absorptionsvermögen zeigte sich in folgender Ordnung zunehmend: Seide, Wolle, Baumwolle, Leinen, Hanf, also dem Durchleitungsvermögen gerade entgegengesetzt. Auf gleiche Weise verhielten sich gleiche Metallplättchen, welche auf die Scheiben geklebt wurden, denn auch hierbei zeigte sich das Absorptionsvermögen in folgender Ordnung zunehmend: Kupfer, Silber, Gold, Stahl, Eisen, Zinn, Blei. Auch Hölzer mit Steinen und Steine mit Blei verglichen gaben hiermit übereinstimmende Resultate, und es muſs daher als allgemeines Gesetz gelten, daſs unter sonst gleichen Bedingungen Körper um so viel mehr Wärme absorbiren, je schlechter sie leiten[1].

265) Mit alleiniger Rücksicht auf den Einfluſs, welchen die Verschiedenheiten der Farbe auf die Strahlung, namentlich die *Einstrahlung*, der Wärme ausüben, sind verschiedene Versuche angestellt worden, die noch eine kurze Erwähnung verdienen. Ueber die gröſsere Erwärmung der dunklen Körper durch die Sonnenstrahlen ist oben (§. 54) gehandelt worden, und man kann dieses auf die leuchtenden Wärmestrahlen überhaupt ausdehnen; es blieb dabei aber immer fraglich, ob sich bei den nicht leuchtenden Wärmestrahlen etwas Aehnliches zeigt, und diese Frage wurde eigentlich von den Physikern kaum mit Bestimmtheit aufgeworfen. Ueberhaupt ist zu bedauern, daſs man die Erscheinungen der dunklen Wärme von denen, die mit Licht verbunden sind, früher nicht genügend sonderte, da es fast unumgänglich nöthig ist, zuerst das Verhalten der dunklen Wärme, also der Wärme an sich, zu erforschen[2] und dann zugleich die durch den Einfluſs des Lichtes modificirten Erscheinungen zu untersuchen. Die oben erwähnten Versuche bezogen sich bloſs auf leuchtende Wärmestrahlen, Humphry Davy[3] deutet indeſs im Allgemeinen an, daſs die Farbe der Körper wahrscheinlich einen Einfluſs auf ihr Vermögen, Wärme jeder Art aufzunehmen, ausübe. Hierdurch aufmerksam gemacht äuſsert Turner[4],

1 Dieses Resultat ist zwar schätzbar, allein dennoch ohne höheren Werth, weil die Bestimmung des Quantitativen der absorbirten und reflectirten Wärme fehlt.

2 Schon Mariotte in Traité des couleurs. Par. 1777. p. 288 erkannte die Nothwendigkeit hiervon.

3 Elements of chemical philosophy. Lond. 1802. P. I.

4 Elements of Chemistry 4th Ed. p. 18.

es sey wünschenswerth zu untersuchen, ob man der *Farbe* der Körper irgend einen Einfluſs auf das Absorptionsvermögen auch der dunklen Wärme zuschreiben müsse, und THOMAS THOMSON[1] bemerkt ausdrücklich, es sey bis jetzt unmöglich gewesen, zu ermitteln, ob Härte, Weichheit und Farbe irgend einen Einfluſs auf die Wärmestrahlung ausübe. Diese Lücke beabsichtigte JAMES STARCK[2] auszufüllen, und obgleich seine Versuche auch unter den Abschnitt *Durchleitung* zu bringen wären, so wollen wir sie doch den bisher betrachteten anreihen.

266) STARCK bediente sich eines sehr einfachen, dem von RUMFORD gebrauchten nachgebildeten Apparates, eines feinen Thermometers, welches in eine unten verschlossene Glasröhre gesenkt und dessen Kugel dann mit den zu untersuchenden Körpern umgeben wurde. Die so vorgerichtete Röhre lieſs er bis 10° C. erkalten, senkte sie dann in siedendes Wasser und maſs die Zeit, bis das Thermometer bis 76°,67 C. gestiegen war. Von seinen vielen Versuchen wird es genügen, nur die Hauptresultate der wichtigsten kurz mitzutheilen. Bei Anwendung feiner Wolle stieg das Thermometer zu der angegebenen Höhe

bei schwarzer in	4	Min.	30	Sec.
— dunkelgrüner in	5	—	0	—
— scharlachrother in	5	—	30	—
— weiſser in	8	—	0	—

Als statt 30 Gr. Wolle nur 20 Gr. genommen wurden, zeigte sich ein geringerer Unterschied, denn die Erwärmung erfolgte

bei schwarzer in	6	Min.	35	Sec.
— dunkelgrüner in	7	—	43	—
— scharlachrother in	8	—	3	—
— weiſser in	8	—	45	—

STARCK stellte demnächst zwei Versuchsreihen an, um den Einfluſs der Farbe auf leuchtende Wärmestrahlen zu ermitteln, und bediente sich dabei eines empfindlichen Luftthermometers,

1 An Outline of the Sciences of Heat and Electricity. Lond. 1830. p. 147.

2 Philos. Trans. 1833. P. II. p. 285. Edinburgh New. Phil. Journ. XXXIII. p. 65.

dessen Kugel mit einer dicken Lage des Pigments überzogen war, auf welche dann die durch einen 3zolligen Hohlspiegel reflectirten Strahlen einer Argand'schen Lampe so lange fielen, bis das Thermometer seinen höchsten Stand erreicht hatte und stationär wurde oder wieder zurückging. Hierbei stieg das Thermometer im Mittel aus drei wenig von einander abweichenden Versuchen von 1° der Scale, welche 10 Theile auf 1 Zoll enthielt,

bei Schwarz von Lampenrufs bis	83°
— tiefem Braun	74
— Orangeroth	58
— Gelb	53
— Weifs	45

Als der Ueberzug sehr dünn und die Flamme mehr ermäfsigt war, stieg das Thermometer von 1°

bei Schwarz bis	52°
— Berlinerblau	50
— Umbrabraun	47
— Grün	44
— Orangeroth	44
— Gelb	39
— Weifs . . .	34

Um durch ein umgekehrtes Verfahren den Einflufs der Farben auf die Ausstrahlung zu messen, wurde das erste Thermometer mit 30 Gr. gefärbter Wolle umgeben, dann in heifsem Wasser bis 87°,78 C. erhitzt, demnächst, nachdem es bis 82°,22 erkaltet war, in Wasser von 7°,22 C. getaucht, und erkaltete dann bis 10° C.

bei schwarzer Wolle in	21	Min.
— rother	26	—
— weifser	27	—

War die Thermometerkugel statt mit 30 Gr. nur mit 20 Gr. umgeben, so erfolgte das Erkalten

bei schwarzer Wolle in	15	Min.	45	Sec.
— rother	17	—	0	—
— weifser	18	—	30	—

Einen gleichen Einflufs der Farbe auf die Wärmestrahlung

zeigten die folgenden zwei Versuchsreihen, deren erste mit gefärbtem feinem Weizenmehl angestellt wurde, womit die Kugel des ersten Thermometers umgeben war. Die Quantität desselben betrug 100 Gr. und die Art der Messung war ganz dieselbe, als bei Anwendung der Wolle. Die Erkaltung erfolgte

bei schwarz gefärbtem Mehl in	9 Min.	50 Sec.
— braun gefärbtem . . .	11 —	0 —
— gelb gefärbtem	12 —	0 —
— weiſsem	12 —	15 —

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde die Kugel des Luftthermometers mit verschiedenen Farben überzogen, bis zu 100 Graden der oben angegebenen Scale erhitzt und dann die Zeit des Erkaltens bis zu 1 Grad gemessen. Im Mittel wurden hierzu erfordert

für die schwarz gefärbte Kugel	2 Min.	2,5 Sec.
— — braun gefärbte —	2 —	40,0 —
— — orangeroth gefärbte —	2 —	44,5 —
— — gelb gefärbte —	4 —	29,0 —
— — weiſs gefärbte —	5 —	50,5 —

267) Die hier mitgetheilten Resultate und die daraus abgeleiteten Folgerungen sind von mehreren Seiten angegriffen worden. Baden Powell [1], welcher sich überhaupt viel mit der Optik beschäftigt und die Gesetze der Strahlung speciell in einer ausführlichen Abhandlung [2] erörtert hat, bezieht sich auf eine frühere Bemerkung von Leslie, daſs der Einfluſs der Farbe auf die Strahlung gar nicht zu ermitteln sey, weil jederzeit ein Pigment angewandt werde, dessen eigenthümliche Beschaffenheit dabei unberücksichtigt bleibe. Obgleich daher die erwähnten Versuche allerdings von groſser Wichtigkeit sind, so fehlt uns doch gänzlich die Kenntniſs der eigenthümlichen Beschaffenheit der Körperelemente, wodurch die Farbe bedingt wird. Vor allen Dingen aber meint auch Baden Powell mit Recht, daſs bei einigen der Versuche die leuchtende Wärme von der dunkeln nicht geschieden sey, da doch nach H. Davy und vielen Anderen die durch das Licht erzeugte Wärme ganz verschie-

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXIV. p. 228.
2 Reports of the British Assoc. T. I. p. 203 ff.

den von der aus dunklen Wärmequellen hervorgehenden sey. Aufserdem aber bleibt von ihm nicht unbemerkt, dafs die Versuche nicht eigentlich zur Strahlung gehören, sondern vielmehr zur *Durchleitung*, welche von der eigentlichen Beschaffenheit der Körper abhängt. Beide lassen sich, wie bereits bemerkt wurde, nicht trennen, inzwischen ist wohl unverkennbar, dafs sowohl bei diesen, als den ähnlichen Versuchen von Rumford, Sennebier und Andern, wobei die das Thermometer umhüllenden Substanzen in eine Glasröhre eingeschlossen waren, letztere also eine unveränderte strahlende Oberfläche bildete, zunächst nur das Durchleitungsvermögen in Betrachtung kommt, es dabei also stets fraglich bleibt, ob wirklich die Farbe, sofern diese in nächster Beziehung zum Lichte steht, und nicht vielmehr die durch das Pigment veränderte Beschaffenheit der Körper hierbei allein oder mindestens theilweise bedingend wirkt. Hätte Powell die so eben erwähnten Versuche von Böckmann gekannt, so wäre es für ihn leicht gewesen, aus diesen einen bedeutenden Einwurf gegen den Einflufs der blofsen Farbe auf das Strahlungsvermögen der dunklen Wärme und namentlich gegen das Resultat zu entnehmen, dafs dasselbe durch die schwarze Farbe verstärkt werde, denn allerdings erkaltete die mit schwarzem Seidenzeuge überkleidete Wismuthkugel (§. 262) unter allen am schnellsten, allein mit blofser Goldschlägerhaut überzogen erkaltete sie schneller, als nachdem diese geschwärzt war, wodurch die ganze Hypothese, dafs die Farbe, als solche, auf das Strahlungsvermögen der dunklen Wärme einen bedeutenden Einflufs ausübe, im hohen Grade wankend wird. So viel scheint aus der Mehrzahl der durch zahlreiche Versuche erhaltenen Resultate evident hervorzugehn, dafs schwarze Oberflächen die Wärme überhaupt am leichtesten ein- und ausstrahlen lassen, der Einflufs sonstiger Färbungen bleibt aber stets sehr problematisch. Später zu erwähnende Versuche geben hierüber nähere Auskunft.

268) Einen zweiten Gegner fand Starck in dem Professor A. D. Bache[1] in Pennsylvanien. Dieser bemerkt zuerst, dafs die Versuche mit leuchtender Wärme aus angegebenen

1 Aus Silliman Am. Journ. T. XXX. p. 16 in Bibl. univ. 1837. Janv. p. 168 u. Edinburgh New Phil. Journ. N. XLII. p. 249.

Gründen gar nicht hergehören und auch nicht eigentlich diejenigen, in denen die Thermometerkugel mit verschiedenen Substanzen nach Rumford's Methode umgeben war, weswegen nur diejenigen übrig bleiben, bei denen die mit verschiedenen Pigmenten bekleidete Thermometerkugel in ungleichen Zeiten erkaltete. Leslie's Satz, daſs der Einfluſs der Farbe überhaupt nicht auszumitteln sey, weil die ungleiche Beschaffenheit der Pigmente allzu bedingend einwirke, hält er zwar für wichtig, glaubt aber, daſs man durch vielfache Veränderungen der Farbenstoffe und der Art, sie aufzutragen, dieser Schwierigkeit begegnen könne. Zu diesem Zweck verschaffte er sich verschiedene Cylinder von Zinn, 2 Zoll hoch, 1,5 Z. im Durchmesser, unten verschlossen, oben mit einer konischen Röhre versehen, um mittelst eines Korkes die Kugel eines feinen Thermometers in die Mitte des Gefäſses zu bringen. Diese wurden mit den erforderlichen Pigmenten überzogen, mit kochendem Wasser gefüllt und nach eingesenktem Thermometer gehörig aufgehangen, worauf ein Beobachter die Wärmegrade, der andere die verflossenen Zeiten aufnotirte. Nachdem durch mehrere Versuche die Zeit des Erkaltens von einer bestimmten Temperatur bis zu einer andern, gleichfalls bestimmten, bei gleicher Wärme der Umgebung genau constatirt worden war, wurde eine neue Lage des Pigments aufgetragen, und damit fortgefahren, bis die Zeit der Abkühlung wieder zuzunehmen anfing, und sich hierdurch zeigte, daſs die Strahlung in Durchleitung überging. Beispielsweise diene eine Reihe dieser Versuche, bei Ueberzügen von Berlinerblau:

Lagen	Zeit des Erkaltens	Lagen	Zeit des Erkaltens
1	1011,50 Sec.	4	829,5 Sec.
2	965,00 —	5	805,0 —
3	910,75 —	6	842,0 —

it Uebergehung der andern wohlgewählten Mittel, um sowohl : Beobachtungsfehler möglichst zu vermeiden, als auch die nflüsse anderweitiger Bedingungen zu beseitigen, um die Retate genau unter einander vergleichbar zu machen, mögen r nur die mittleren Werthe aus den erhaltenen Gröſsen tabarisch zusammengestellt Platz finden.

Nr.	Farbestoff	Farbe	Zeit	Bemerkungen
1	Lackmus	Blau . . .	728 Sec.	—
2	Berlinerblau . . .	Blau . . .	729 —	rauh
3	Kupferammoniak	Grünblau . .	789 —	desgleichen
4	Mangan-Peroxyd	Schwarzbraun	804 —	nicht glänzend
5	chinesischer Tusch	Schwarz .	804 —	nicht glatt
6	doppelt chromsaures Kali	Braun . . .	810 —	streifig
7	chinesischer Tusch	Schwarz . .	817 —	glatt
8	Alcanna	Roth	828 —	nicht glänzend
9	Bleiweifs mit Lavendelöl	Weifs	830 —	glatt, nicht glänzend
10	Schwefelblei . . .	Schwarz . . .	837 —	—
11	blaue Ochsenzungenwurzel . . .	Blau	838 —	—
12	kohlensaure Magnesia	Weifs . . .	846 —	rauh
13	Bleiweifs mit Gummi	Weifs . . .	864 —	glatt
14	Kreide	Weifs . . .	865 —	—
15	Zinnober	Roth . . .	872 —	glatt
16	Schwerspath . . .	Bläulichweifs	873 —	rauh
17	Schwefelantimon	Braun . . .	909 —	glatt mit Streifen
18	Indigo	Blau . . .	912 —	glatt
19	Carmin	Carmoisin .	944 —	desgleichen
20	Mennig	Gelbroth . .	952 —	desgleichen
21	schwefelsaurer Baryt	Weifs . . .	957 —	—
22	Graphit	Schwarz . .	974 —	nicht glänzend
23	chromsaures Blei	Gelb	977 —	glatt
24	Gummigutt . . .	Olivenfarbe	1005 —	desgleichen mit Streifen
25	doppelt schwefelsaures Zinn . .	Gelb	1085 —	glatt

Aus dieser interessanten Versuchsreihe geht wohl hervor, dafs ein eigentlicher Einflufs der Farbe auf die Wärmestrahlung nicht statt findet, denn Blau macht den Anfang und findet sich wieder unter Nr. 18, Roth kommt unter den Nummern 9, 15 und 19 vor u. s. w. Hiernach kommt also die Farbe der Kleider, aufser bei Sonnenschein, rücksichtlich der Erwärmung nicht in Betrachtung. Selbst die Glätte, die bei Metallen von so grofsem Einflufs ist, zeigt sich hierbei nicht sehr wirksam. Es scheint sogar hervorzugehn, dafs die Strahlung

der dunklen Wärme auf keine Weise von der Farbe und selbst nicht von der chemischen Beschaffenheit der Körper abhängt, sondern dafs jede einzelne Substanz ein eigenthümliches Vermögen besitze, welches vorläufig blofs durch Versuche bestimmbar ist[1].

γ) Uebergang der Wärme aus einem Körper in einen andern.

269) Bei den bisherigen, unter Strahlung zusammengefafsten Untersuchungen kamen alle diejenigen Erscheinungen in Betrachtung, wobei die Wärme einen Körper verläfst oder auch von demselben aufgenommen wird, ohne den gegenseitigen Austausch beider Körper zu berücksichtigen. Wenn ferner Körper ihre Wärme ausstrahlen, so kann dieses zwar in den leeren Raum geschehn, allein für alle irdische Erfahrungen mufs dieser wieder durch irgend eine Hülle umgrenzt seyn, und ebenso mufs die Quelle, aus welcher Wärme zum Körper strahlt, sich an irgend einem zu diesem Körper relativen Orte befinden. Bisher wurde auf diesen Abstand nicht Rücksicht genommen, aufser insofern die Luft oder tropfbare Flüssigkeiten der Oberfläche des fraglichen Körpers zuströmen und von der daselbst vorhandenen Wärme einen Theil abführen oder derselben mittheilen. Ist der Abstand beider Körper von einander ein grofser, so können die hieraus hervorgehenden Modificationen vernachlässigt werden, allein der Abstand kann auch kleiner werden und bis zur gänzlichen Berührung verschwinden. Ist im letzteren Falle diese Berührung innig und

---

1 Gelehrte theoretische Untersuchungen über Wärmestrahlung, aus denen nicht füglich ein kurzer Auszug mitgetheilt werden kann, sind enthalten in Fourier Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. Von demselben eine Abhandlung in Mém. de l'Inst. T. V. und T. II. p. 581, desgleichen in Ann. de Chim. et Phys. T. IV. p. 128. VI. p. 259. T. XXVII. p. 236. T. XXVIII. p. 37 und Poggendorff's Ann. II. 359. Lond. and Edinb. Philos. Mag. N. VIII. p. 103. Ferner von Poisson in Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. desgleichen in Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 225. T. XXVIII. p. 337 eine Abhandlung von Libri, der Akademie im Jahre 1825 mitgetheilt. S. Crelle Journ. für reine und angewandte Mathematik. Th. VII. S. 116.

vollkommen; so würden die statt findenden Wärmephänomen zur Fortpflanzung der Wärme in den Körpern gehören, wob jedoch die eigenthümliche Beschaffenheit der mit einander ver bundenen gewisse Modificationen herbeiführt. Inzwischen kom men auch diejenigen Fälle in Betrachtung, wobei eine dünn Lage zwei Körper trennt, welche dann die Wärme des eine bloſs aufnimmt, um sie sofort an den andern wieder abzu geben.

270) Nach einer durch PREVOST[1] aufgestellten Hypothe befindet sich die Wärme eines jeden Körpers in steter Strah lung, wie hoch oder tief auch seine Temperatur seyn mag. E strahlt daher der wärmere Körper gegen den kälteren und letz terer gegen den ersteren, jedoch überwinden die stärkeren Strah lungen die schwächeren, die kälteren Körper nehmen da her Wärme von den wärmeren auf. Es wäre allerdings zu lässig, dieser Vorstellung Raum zu geben, wenn man die Wärm als das Resultat bloſser Vibrationen betrachten wollte, in we chem Falle dann solche und nichts anderes, also auch ke eigentlicher Uebergang derselben von einem Körper zum an dern, in allen Körpern statt finden müſsten, der absolute Nu punct aber als ein vollkommenes Ruhen der Körpertheilch zu betrachten wäre. Ich glaube jedoch, daſs wir einer solch künstlichen Hypothese zur Erklärung der Thatsachen nicht b dürfen, wie bereits oben aus triftigen Gründen gefolgert worden i im Ganzen aber schon daraus hervorgeht, daſs eine solche st fortdauernde, bald stärkere, bald schwächere Undulation, der vielfache Modificationen sich kaum auf irgend eine Weise na turgemäſs als hinlänglich begründet nachweisen lassen, a bloſsen Voraussetzungen beruht. Weit einfacher ist es, d Wärmephänomene von einer ätherischen Flüssigkeit abzuleite deren Molecüle zwar Repulsion unter sich ausüben, zuglei aber der Anziehung gegen die Molecüle der Körper unterwo fen sind. Hieraus folgt dann von selbst, daſs im Conflic dieser beiden Kräfte die Attraction des minder warmen, in

---

1 Exposition élémentaire des principes qui servent de base à théorie de la chaleur rayonnante. Génève et Par. 1832. 8. Vergl. blioth. univ. 1832. Nov. p. 248. Mém. de la Soc. de Génève. T. P. II. p. 161. Aeltere Untersuchungen von ihm in Rozier's Jou 1791. Mars. Daraus in Gren's Journ. T. VI. p. 325.

besondere nach Maſsgabe der hierbei thätig mitwirkenden zwischenliegenden Körper, gegen die Repulsion des wärmeren überwiegend wirken und er von diesem einen Theil seiner Wärme aufnehmen wird.

Handelt es sich zuerst um eine dünne Lage, welche den die Wärme abgebenden von dem sie aufnehmenden Körper trennt, so kommt hierbei der so eben ausführlich untersuchte Einfluſs der Flächen auf die Strahlung in Betrachtung. Der Einfluſs der Flächen ist aber nur in der Beziehung untersucht worden, wenn die Ausstrahlung in die Luft oder den leeren Raum statt findet; er fällt aber weg, wenn ein fester Körper mit einem strahlenden festen Körper in unmittelbarer Berührung ist, ja er wird schon bedeutend geschwächt, wo nicht gleichfalls gänzlich aufgehoben, wenn ein tropfbar flüssiger denselben berührt. Hat der Körper, welcher die Wärme von einem andern ihn berührenden aufnimmt, eine bedeutende Dicke, so daſs die Wärme in ihm eine beträchtliche Strecke zurücklegen muſs, so gehören die Erscheinungen zur Classe derjenigen, die sich auf die *Fortpflanzung* beziehn, und wenn die Wärme von einem Körper aufgenommen und bei nicht beträchtlicher Dicke desselben an seiner andern Seite wieder abgegeben wird, unter die Classe der *Durchleitungsphänomene*. Es bleiben daher für diesen Abschnitt nur einige Erscheinungen übrig, in denen die Wärme von einem Körper nicht durch freie Strahlung, namentlich im luftleeren Raume, abgegeben oder aufgenommen wird, sondern von einem zum andern, in sogenannter unmittelbarer Berührung sich befindenden Körper übergeht, ohne die Fortpflanzung derselben in dem sie aufnehmenden näher zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist die hierzu erforderliche Zeit der specifischen Wärmecapacität und dem Fortleitungsvermögen der aufnehmenden Körper umgekehrt proportional. Ueber das hierauf beruhende schnellere Erkalten der Körper in den verschiedenen Gasarten und in Flüssigkeiten ist bereits gehandelt worden, und mehrere sonstige Erscheinungen, die ihrer Menge wegen noch nicht sämmtlich auf bestimmte Gesetze zurückgeführt worden sind, lassen sich leicht erklären. Dahin gehören namentlich die täuschenden Schlüsse über die Temperaturen verschiedener Körper, wenn man diese auf das bloſse Gefühl beim Berühren gründet und sie für wärmer oder kälter hält, je nachdem sie die Wärme schneller aufnehmen und ab-

geben. So scheinen z. B. Metalle, namentlich Quecksilber, Wasser, Steine u. s. w. wärmer oder kälter als Asche, Holz, Leder u. s. w., wenn ihre übrigens gleiche Temperatur höher oder niedriger ist, als die der Hand. Hierher gehört ferner das augenblickliche Festfrieren der nassen Hand oder Zunge an Metallen bei strenger Kälte, was bei gleich kaltem Holze, Leder u. s. w. nicht statt findet, das Anlegen des Reifes bei strenger Kälte an Fensterscheiben und Metalle, welche von aufsen her bis in geheizte Zimmer geleitet sind, oder an Mauern nach eingetretenem Thauwetter, das Aufnehmen des Wasserdunstes und Lichtschwalkes, welches durch massive Wände geschieht, während hölzerne davon frei bleiben, und eine Menge ähnlicher Erscheinungen, deren Erklärung keinen Schwierigkeiten unterliegt. Wir haben inzwischen in dieser Beziehung noch drei höchst wichtige Phänomene zu untersuchen, welche unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuches, der Unverbrennlichkeit der Menschen und des Trevelyan'schen Apparates bekannt sind.

271) Leidenfrost[1] wollte nach der Ansicht von den vier Elementen diejenige Urerde auffinden, welche aus dem Wasser durch Verdichtung entstehe, und liefs daher anhaltend Wasser in einem erhitzten eisernen Löffel verdampfen. Hierbei gewahrte er, dafs kleine Quantitäten des Wassers beim Erglühen des Löffels sich zu runden Tropfen formirten, die Fläche des Metalls nicht mehr benetzten und ungleich langsamer verdampften, als durch eine die Siedehitze nicht viel übersteigende Wärme, weswegen er bei der Bekanntmachung dieser Phänomene den Satz aufstellte, die Quantität des verdampfenden Wassers sey der Hitze des Metalles umgekehrt proportional. Um hierbei gleich grofse Tropfen zu erhalten, bediente er sich eines Glasröhrchens. Ziegler[2] wiederholte diese Versuche und bemühte sich, die Temperatur aufzufinden, bei welcher gleich grofse Tropfen am schnellsten verdunsten, die er bei 149° C. setzte, indem er gleichfalls zu dem Resultate gelangte,

1 De aquae comm. nonnullis qualit. Duisb. 1756. Eine selten gewordene Dissertation. Eller scheint die Eigenschaft, dafs Wassertropfen über glühendes Metall schnell hinrollen, zuerst wahrgenommen zu haben. S. Hist. de l'Acad. de Berlin. 1746. p. 42.

2 Specimen de Digestore Papini. Bas. 1765.

dafs die zum Verschwinden des Tropfens erforderliche Zeit mit der Hitze zunehme. Hiernach suchte Lambert[1] die Curve der Verdunstungen aufzufinden, wenn die Zeiten die Ordinaten, die Temperaturen aber die Abscissen bilden; allein der bloße Anblick der Figur zeigt zu grofse Abweichungen für die höheren Grade, als dafs man auf ein bestimmtes Gesetz schliefsen dürfte, welches entweder nicht existirt, oder wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten der Experimente nicht wohl aufzufinden ist. Bei meinen häufigen Wiederholungen dieser Versuche habe ich zwar keine eigentlichen Messungen angestellt, nach bloßer Schätzung aber dieses Gesetz nicht bestätigt gefunden. Von der Temperatur an, wo das Phänomen eben eintritt, wächst allerdings die zum Verdunsten erforderliche Zeit mit zunehmender Hitze, ist aber die Glühhitze nahe oder schon erreicht, dann erfolgt das Verdunsten bis zur Weifsglühhitze zunehmend schneller. Es verdient jedoch nicht übersehn zu werden, dafs Ziegler seine Versuche nur bis zu 271° C. Temperatur ausdehnte. Wiederholt wurden die Versuche ferner durch Link[2], Kastner[3], Oersted[4] und vorzüglich durch Klaproth[5], welcher gleichfalls fand, dafs die zur Verdunstung gleich grofser Tropfen erforderlichen Zeiten mit der Zunahme der Temperaturen abnehmen, aufserdem aber, dafs sie bei ungleichen Metallen verschieden sind. Sie betrugen bei Eisen 40 Sec., bei Silber 60 Sec. und bei Platin 70 Sec. Rumford[6] fand bei seinen Untersuchungen über das Wesen der Wärme, dafs Wassertropfen über sehr heifses, selbst glühendes Metall hinrollen, ohne dasselbe zu benetzen oder auf gewöhnliche Weise zu verdampfen; er schwärzte ferner die innere Seite eines silbernen Theelöffels mit Lampenrufs und brachte einen Wassertropfen hinein, welcher rund blieb und bei starker Erhitzung des Löffels nicht verdampfte; auch gab er an, dafs ein Wassertropfen an einem kleinen Hölzchen mitten in die helle Flamme einer frisch geschneuzten Kerze gehalten nicht

1 Pyrometrie. p. 180.
2 Beiträge zur Phys. u. Chem. St. 2. S. 11.
3 Trommsdorff's Journ. Th. XI. S. 270.
4 Geblen's n. allgem. Journ. Th. III. S. 324.
5 Scherer's allg. Journ. d. Chemie. Th. VII. S. 646.
6 Mémoires sur la Chaleur. p. 93. G. XVII. 33.

verdampft. Alle diese Erscheinungen betrachtet er als Folge der blanken Oberfläche des Tropfens und seiner Transparenz, vermöge welcher die von ihm hypothetisch angenommenen Wärmewellen theils zurückgeworfen, theils wie die Lichtstrahlen durchgelassen werden, ohne die Temperatur merklich zu erhöhn, eine durchaus ungenügende Hypothese, weil es nach derselben überhaupt unmöglich seyn würde, klares Wasser zum Sieden zu bringen.

272) Der Versuch wurde später sehr häufig in der Absicht wiederholt, um auf die genauere Kenntnifs des Phänomens und seiner Bedingungen eine Erklärung zu gründen, die jedoch durch eine zufällige Beobachtung von selbst gegeben zu seyn schien. Nach einer Erzählung von Perkins[1] zersprang einst der Generator (Dampferzeuger, Dampfkessel) seiner Hochdruckmaschine mit einem starken Knalle, allein die Maschine blieb dennoch im Gange und die Ursache des Knalles war dadurch räthselhaft; als aber das Feuer vermindert wurde und der Generator sich abkühlte, strömte das Wasser aus demselben mit schrecklichem Getöse ins Feuer, und nach der Oeffnung des Heizraumes zeigte sich in der ganzen Länge des Generators ein starker Rifs. Um die auffallende Erscheinung weiter zu verfolgen, wurde der Heizraum wieder hergestellt, der Generator wieder bis zum Glühen erhitzt und Wasser hineingepumpt, worauf die Maschine abermals ohne Entweichen von Dampf arbeitete. Hierauf bohrte Perkins unten in einen neuen Generator ein Loch von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, schraubte ein eisernes, aufwärts gebogenes Rohr hinein, versah dieses am oberen Ende mit einem Hahn, erhitzte den Generator abermals, und öffnete dann den Hahn des Rohrs, sah aber keinen Dampf entweichen, ungeachtet er dessen Spannung auf 4000 Atmosphären schätzte. Hieraus folgert er, dafs die Wärme des bis 344° C. erhitzten Metalles gegen Wasser sowohl, als auch sogar gegen Wasserdampf eine bis auf $\frac{1}{10}$ Zoll sich erstreckende Repulsion ausübe, wodurch dann allerdings sowohl das angegebene Phänomen, als auch Leidenfrost's Versuch eine hinlängliche Erklärung fände. Indefs weifs ich nicht, ob die Erzählung von Perkins aus einem Haschen nach etwas Para-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 435. Poggendorff Ann. XII. 316.

doxen entstanden sey, oder welche Bewandtnifs es sonst mit dem beobachteten Phänomene haben mag; gewifs dagegen ist, dafs die Maschine bei der ersten Beobachtung unmöglich im Gange bleiben konnte, wenn die gesammte eingeschlossene Wassermasse in mehr als $\frac{1}{16}$ Zoll Abstand vom heifsen Metalle gehalten wurde und demgemäfs so langsam verdampfte, als dieses beim Leidenfrost'schen Versuche geschieht; denn alsdann konnte die Menge des gebildeten Dampfes unmöglich genügen, und aufserdem kann sich ein jeder leicht überzeugen, dafs die Wassertropfen, selbst ohne allen äufsern Druck, sofort durch ein Loch von nur $\frac{1}{12}$ Zoll Durchmesser in einem nahe weifsglühenden Platinbleche fallen, sobald sie klein genug sind und die gröfseren Tropfen nicht durch die Adhäsion ihrer Theilchen an einander hieran gehindert werden. Endlich zeigen directe Versuche, welche Buff[1] zur Prüfung jener Erzählung anstellte, dafs der Dampf auch ohne erheblich stärkeren Druck, als den atmosphärischen, ungehindert durch das Zündloch eines glühenden Flintenlaufs dringt. Derselbe fand ferner, dafs mit Indigo gefärbtes Wasser sich wie reines Wasser verhält; auch sollen rauhe Oberflächen eine gleiche Wirkung äufsern, als polirte, wenn nur die Masse gut leitet, was jedoch mit meinen Versuchen nicht übereinstimmt; wonach Eisen, wenn es einige Zeit weifsglühend gewesen und dadurch rauh geworden ist, in diesem Zustande des stärksten Weifsglühens die Erscheinung nicht zeigt. Nach Buff gelingt der Versuch ebenso gut mit Weingeist, als mit Wasser, desgleichen mit Ammoniaklösung und Salzsäure, mit Schwefelsäure aber schlecht, indem diese zwar anfangs rotirt, bald aber sich an einer Stelle festsetzt und schnell verdampft, was jedoch nach Fischer's Angabe (§. 273) nicht wohl der Fall seyn kann, da dieser eine langsame Zersetzung derselben wahrnahm. Döbereiner[2] hat die Summe der bekannten Thatsachen um einen interessanten Theil vermehrt, indem er auffand, dafs sich die Tropfen in Platintiegeln bis zur Dicke einer Wallnufs vergröfsern lassen, Pouillet[3] aber, welcher bei seinen Verdampfungsversuchen gelegentlich diese Erscheinung wahrnahm, konnte einen grofsen

1 Poggendorff's Ann. XXV. 591.

2 Schweigger's Journ. Th. XXIX. S. 43. G. LXXII. 211.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 5. Poggendorff's Ann. XI. 447.

rothglühend gemachten Platintiegel bis zur Hälfte mit Wasser anfüllen und dieses Wasser eine Viertelstunde darin erhalten, ohne dafs es eine Bewegung oder eine merkliche Abnahme zeigte. In solchem Falle nimmt zwar das Wasser die Form der Gefäfse ungefähr an, berührt aber die Seitenwandungen nicht innig, und zeigt ein Bestreben, in die Kugelform überzugehn. Waren im Wasser Körper gelöst, hauptsächlich Kali und Kalisalze, so verlor es die angegebene Eigenschaft, auch durch Tinte oder Kohlenstaub geschwärztes verdampfte schnell. Pouillet scheint geneigt, nach Rumford's Ansicht die Ursache darein zu setzen, dafs die Wärmestrahlen durch das transparente Wasser dringen, ohne diesem mitgetheilt und zur Verdampfung verwandt zu werden. Böttger[1] will wahrgenommen haben, dafs die Tropfen gewisse regelmäfsige, sehr zusammengesetzte Gestalten annehmen, die mit ihrer Gröfse wechseln. Allerdings sind sie oft auf eine merkwürdige Weise gekräuselt, eine stets wiederkehrende bestimmte Regelmäfsigkeit ihrer Gestaltung bleibt aber zweifelhaft. Nach Döbereiner zeigt sich dieses Phänomen nicht blofs beim Wasser, sondern auch bei andern Flüssigkeiten, als Weingeist, Aether, ätherischen Oelen und Quecksilber; die Ursache desselben liegt aber in dem Mangel der Adhäsion der Flüssigkeiten an die Metalle und der steten Rotation der Tropfen, in deren Folge sie nur in kurz dauernde Berührung mit dem erhitzten Metalle kommen.

273) Hauptsächlich um die von Perkins aufgestellte Behauptung zu prüfen, nach welcher jedoch die vermeintliche Repulsion nicht blofs von den Rändern der Oeffnung oder des Risses im Generator ausgehn könnte, sondern nothwendig dem heifsen Metalle überhaupt eigen seyn müfste, wenn wir anders nicht unnatürlichen Voraussetzungen Raum geben, vielmehr das Phänomen überhaupt aus der angegebenen Erfahrung erklären wollen, stellte ich selbst im Beiseyn meines Collegen L. Gmelin und des Dr. Arneth einige etwas schwierigere Versuche an. Ganz eben geschliffene dicke Platten von Eisen und Messing wurden über einer Kohlenpfanne bis zur Weifsglühhitze gebracht, mittelst einer Glasstange oder eines Pfeifenrohrs ein

---

1 Eine Sammlung eigener Erfahrungen, Versuche und Beobachtungen. Fr. 1838. N. XVIII.

starker Tropfen über ihr festgehalten, da es unmöglich war, die vollkommene Horizontalität der Platten zu erreichen, und während ein Pappschirm das Auge gegen die unerträgliche Hitze schützte, gewahrte man deutlich, dafs kein Lichtstreifen zwischen Platte und Tropfen durchging; es findet daher zwar keine Adhäsion zwischen beiden statt, allein auch kein meſsbarer Abstand. Gelegentlich wurde auch die Ursache des Rotirens der Tropfen aufgefunden, welche in der ungleich starken Anziehung und auch Wärmestrahlung der nicht überall völlig gleichmäſsigen Platte oder Schale liegt, wie sich deutlich zeigte, als zerschnittene Stückchen einer Stecknadel in ein glühend gemachtes silbernes Schälchen geworfen worden waren und als ein Fleck auf der inneren Fläche des Schälchens durch Zutritt eines heterogenen Körpers schwarz geworden war, beide Ursachen aber durch ungleiche Strahlung die Bewegungen des Tropfens bedeutend vermehrten. Daſs übrigens die Rotation der Tropfen nicht die Ursache ihres langsamen Verdampfens überhaupt sey, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man überlegt, daſs in den erstgenannten Versuchen der Tropfen an einer Glasröhre oder einem thönernen Pfeifenrohre zur Vermeidung des Herabrollens festgehalten wurde, mithin nicht rotiren konnte; ja man kann beim gewöhnlichen Versuche ein Holzstäbchen oder einen Draht durch den Tropfen auf die Metallfläche stützen, ohne einen andern Einfluſs, als welchen die hierdurch bewirkte Erhitzung des untern Endes hervorbringt, zu gewahren; endlich streitet diese Annahme gegen Pouillet's Beobachtung. Es ergab sich aus meinen Versuchen ferner, daſs die von Perkins angenommene Repulsion sehr heiſser Metalle nicht als Ursache der Erscheinung gelten kann, denn kleine Tropfen fielen sogar durch ein 0,8 Lin. weites Loch in einer 11 Lin. dicken Eisenplatte sowohl bei geringerer Hitze, als auch wenn diese bis nahe zum Weiſsglühen stieg; merkwürdig aber war, daſs eben diese Platte im Zustande des stärksten Weiſsglühens, in dessen Folge ihre Oberfläche durch eine Oxydschicht rauh geworden war, das Phänomen gar nicht zeigte, sondern das Wasser gleich schnell als glühende Kohlen verdampfen machte. Noch muſs erwähnt werden, daſs Fette, sowohl animalische als auch vegetabilische, die Erscheinung nicht zeigen, vielmehr werden sie im Verhältniſs der stärkeren Hitze schneller verdickt und verkohlt. Einige Vermehrung der bekannten

Thatsachen ist durch die Versuche hinzugekommen, welche N. W. Fischer[1] anstellte, indem er namentlich fand, dafs bei der Anwendung von Weingeist statt des Wassers sich sogleich ein Geruch nach Lampensäure zeigt und dafs Aether einen scharfen, die Respirationswerkzeuge und Augen stark angreifenden Dampf erzeugt. Auch Terpentinöl und Steinöl entwickeln Dämpfe, deren Geruch von dem dieser Flüssigkeiten ganz verschieden ist, concentrirte Schwefelsäure aber entwickelt dicke bläuliche Dämpfe, welche nicht zum Husten reizen, weswegen eine Zersetzung derselben in Sauerstoff und ein Schwefeloxyd statt finden soll; Quecksilberkügelchen endlich verdampfen, wenn die Hitze stark genug ist, oder amalgamiren sich mit dem Metalle. Hieraus folgert Fischer, dafs die starke Hitze nicht zur Verdampfung, sondern zur Zersetzung der Flüssigkeiten verwandt werde, wozu es deren viel bedürfe, so dafs hierhin die Ursache des langsamen Processes zu suchen sey. Bei der Anwendung von Weingeist nimmt man allerdings den angegebenen scharfen Geruch wahr, doch entzündet sich derselbe leicht, und mit Schwefeläther wollte mir der Versuch eben aus dieser Ursache nie gelingen. Inzwischen bleibt zweifelhaft, ob eine unmittelbare Zersetzung des Weingeistes statt finde und nicht vielmehr die von diesem allerdings, ebenso wie vom Wasser, aufsteigenden Dämpfe in der grofsen Hitze der Umgebung eine Zersetzung erleiden, im Ganzen aber ist die hieraus entnommene Erklärung nicht vollkommen befriedigend, weil sie den Grund nicht enthält, weswegen die Adhäsion der Tropfen zum Metalle aufgehoben wird. Zudem fand Döbereiner durch directe Versuche, dafs das Wasser nicht in seine Bestandtheile zerlegt wird, was zwar Fischer zu widerlegen sucht, allein es dürfte doch im Ganzen wahrscheinlich seyn, dafs bei Weingeist, Aether und den flüchtigen Oelen blofs die Dämpfe zersetzt werden, wie dieses durch sehr heifse Metalle nach Davy's Entdeckung sehr leicht geschieht; beim Wasser kann dieses aber der Fall nicht seyn, weil hierzu ein den Sauerstoff aufnehmender Körper erfordert wird, eher bei der Schwefelsäure, deren Verdampfung erst in sehr starker Hitze erfolgt.

274) Die *Hitze* des Tropfens fand Rumford dadurch, dafs

1 Poggendorff's Ann. XIX. 514. XXI. 168.

er denselben aus dem Löffel in die Hand fallen liefs, zwar merklich, aber nicht so stark, dafs die Haut dadurch verbrannt wurde; eben dieses giebt ERDMANN[1] als durch das Gefühl erhalten an, und dafs er die Siedehitze nicht habe, geht klar hervor, denn man kann einen Theil desselben durch Berührung mit dem Finger herausnehmen, wenn die Hitze des Feuers und des glühenden Metalls dieses nicht hindert. DÖBEREINER dagegen will mit einem feinen Thermometer 99° bis 101° C. gemessen haben, was jedoch eine unsichere Art des Messens ist, weil der nicht eingetauchte Theil des Thermometers und die Kugel desselben vor dem Eintauchen durch die Strahlung des glühenden Metalls zu sehr afficirt wird. Genauer scheint mir die Angabe FISCHER's zu seyn, wonach die Wärme der Tropfen von 70° bis 100° C. wechselt, je nachdem dieselbe im Anfange des Versuches, nachdem der Tropfen eben hineingebracht worden ist, oder gegen das Ende unmittelbar vor dem Momente untersucht wird, wo er die Kugelgestalt verliert, dem Metall adhärirt und schnell verdunstet, was alsdann geschieht, wenn sich im wiederholt durch neu hinzugesetzte Flüssigkeit vermehrten Tropfen einige Substanzen, vielleicht auch von der Oberfläche des Metalls, absetzen und er trübe wird. Auf jeden Fall kann der Tropfen nicht füglich Siedehitze erhalten, weil sonst ein eigentliches Aufwallen statt finden müfste; ob aber das Kräuseln desselben von aufsteigenden Dämpfen herrühre, ist wohl noch nicht genügend ausgemittelt worden. Auch LECHEVALLIER[2] und DULONG[3] haben, durch die Angabe von PERKINS veranlafst, die Versuche wiederholt und scheinen den Ansichten desselben beizutreten. Ersterer verschlofs aber den Platinbecher mit dem Wassertropfen durch einen genau passenden Deckel, und glaubte beim Oeffnen desselben nach einiger Zeit keine Spannung des Dampfes zu bemerken. BEAUFREMONT[4], dem diese Resultate nicht genügten, wiederholte die Versuche, und mafs dabei die Hitze der Tropfen durch

1 Journ. für praktische Chemie. Th. X. S. 331.

2 Journ. de Chim. médicale 1830. Sept. p. 540. Journ. de Pharm. 1830. N. XI. T. XVI. p. 666.

3 Ebend. 1830. Nov. Vergl. Geiger's Ann. der Pharmacie. Th. S. 220.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 319.

Mischung derselben mit Wasser, indem er die durch sie bewirkte Erhöhung der Temperatur der gesammten Wassermasse nach den bekannten Gesetzen der Mischungen hierzu benutzte, wodurch er ihre Temperatur zwischen 36°,48 und 50°,61 fand. Abgesehn davon, dafs dieses Mittel sehr unsicher ist, da die Wassermenge der Tropfen nicht grofs ist und die Bestimmung ihrer Gröfse vielen Schwierigkeiten unterliegt, gewährt auch die von ihm angewandte Formel keine hinlängliche Genauigkeit, indem er $T = t\frac{M}{m}$ setzt, worin M und m die Massen des Wassers, t den Unterschied ihrer Temperaturen und T die gefundene Temperatur bezeichnen. Berichtigt würden die gefundenen Temperaturen 48°,78, 62°,5 und 63°,61 C. betragen, was der Wahrheit schon näher kommen dürfte. Aufserdem fand er, dafs gleich grofse Tropfen von 3′ 7″ bis 1′ 6″ Zeit bedurften, um völlig zu verdunsten, wenn die Hitze von der geringsten, wobei das Phänomen eintritt, bis zur stärksten Glühhitze stieg; auch überzeugte er sich, dafs allerdings Dampf gebildet wird, dessen Spannung mit der Hitze zunimmt. Seiner Ansicht nach, die sich auf Versuche mit Wasser und anderen Flüssigkeiten gründet, liegt die Ursache des Phänomens darin, dafs die zugeführte Wärme durch die Verdunstung absorbirt werde und daher das Wasser nicht zum Sieden bringe, als ob beim Sieden nicht ebenso, wie beim Verdunsten, Wasserdampf gebildet würde. Boutigny[1] gewahrte die angegebene Erscheinung bei Wasser, es glückte ihm aber auch, rotirende Tropfen von Schwefeläther, Terpentinessenz und Citronenessenz, ja sogar von schwefliger Säure (*acide sulphureux anhydre*) zu erhalten, welche in die Hand geschüttet das Gefühl von Kälte erzeugten. Der Versuch läfst sich nach Beaudrimont nicht blofs mit Metallen, sondern auch mit andern Körpern anstellen, die man in starke Glühhitze versetzen kann. Die Wärme der Wassertropfen ist auch durch Laurent[2] mittelst eines Thermometers gemessen und nicht unter 95°, genauer aber 99° C. gefunden worden; allein es ist schon bemerkt worden, dafs der Einflufs des erhitzten Metalles auf das Ther-

1 Journ. de Pharmacie 1840. Mai. London and Edinb. Phil. Mag. N. CIX. p. 230. Poggendorff's Ann. LI. 130.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXIV. p. 327.

mometer hierbei nicht zu vermeiden steht, und eine so hohe Temperatur kann der Tropfen nicht haben, weil man ihn sonst nicht ohne Nachtheil in die Hand ausschütten und noch weniger mit der Fingerspitze so berühren könnte, daſs ein groſser Theil desselben daran hängen bleibt. Eine der am meisten gangbaren Hypothesen zur Erklärung dieses Phänomens ist die, welche unter Andern auch Fabi[1] vertheidigt. Hiernach soll Dampf von gröſserer Elasticität, eben durch die verstärkte Hitze erzeugt, sich zwischen der Metallfläche und dem Tropfen befinden, diesen daher schwebend erhalten, seine Berührung mit der Fläche hindern und durch seine Erzeugung die gröſsere Hitze binden. Hiergegen erklärt sich Fechner[2], weil ein mit Tinte oder Kohlenstaub gefärbter Tropfen die Erscheinung nicht zeigt. Auch ohne dieses Argument muſs man die Gesetze der Dampfbildung ganz unberücksichtigt lassen, wenn man diese Hypothese zu vertheidigen beabsichtigt. Zuvörderst ist die Bildung von elastischerem Dampfe, als welcher der Siedehitze zugehört, ohne vorhandenen stärkeren Druck der Natur der Sache nach ganz unmöglich, denn wenn derselbe auch unter stärkerem Drucke erzeugt worden ist, so geht er beim Eintritt in die freie Luft sofort zur Elasticität der Siedehitze und durch augenblickliche Abkühlung selbst zu einer noch geringeren über. Man müſste hierbei ganz vergessen, daſs man mittelst des Thermometers die dem jederzeitigen Luftdruck proportionale Elasticität des Wasserdampfes sogar mit ziemlicher Genauigkeit zu messen vermag. Hiervon abgesehn gehört dem heiſseren Dampfe zugleich nothwendig eine gröſsere Dichtigkeit zu, seine Bildung erfordert daher eine gröſsere Wassermenge, und der Tropfen müſste daher ganz im Gegentheil schneller verzehrt werden, wie denn bekanntlich die bei den Dampfmaschinen erforderliche und stets verbrauchte Wassermenge, unter übrigens gleichen Bedingungen, der Dichtigkeit des erzeugten Dampfes proportional ist.

275) Ueberblicken wir die hier zusammengestellten Thatsachen[3] und suchen wir sie mit den sonstigen Naturerschei-

---

1 Kastner's Archiv. Th. IV. S. 57.

2 Dessen Repertorium Th. II. p. 401. Uebers. von Biot's Physik. Th. V. S. 367.

3 Als eine, hier zu weit führende Nachlese ist das zu betrach-

nungen in Einklang zu bringen, so gelangen wir zu folgendem Resultate. Mit der gröfseren Hitze hört die Adhäsion der Flüssigkeiten zu den Metallen so weit auf, dafs die Adhäsion der Theilchen dieser Flüssigkeiten unter sich auf gleiche Weise überwiegend wird, als bei solchen, die auf festen Körpern nicht zerfliefsen, sie nicht benetzen und mehr oder weniger vollkommen runde Tropfen bilden, deren Rotation durch ungleiche Anziehung einzelner Theilchen der Oberfläche auf gleiche Weise, als bei vielen andern Phänomenen, namentlich den kleinen Kampherstückchen auf Wasser[1], nothwendig bedingt wird. Erhöhung der Temperatur vermindert überhaupt die Adhäsion der Flüssigkeiten zu festen Körpern[2], wie auch aus der bekannten Erscheinung hervorgeht, dafs ein Wassertropfen sich an einem Drahte, der Schwere entgegen, aufwärts bewegt, wenn man das untere Ende erhitzt; eine starke Erwärmung des Metalls kann also die Adhäsion leicht so weit vermindern, dafs das Benetztwerden auf gleiche Weise aufhört, als dieses bei manchen Flüssigkeiten gegen gewisse feste Körper auch in niedrigerer Temperatur statt findet[3]. Hierbei tritt dann, wie auch anderweitig, z. B. bei Quecksilber auf Glas, der Fall ist, keine eigentliche Entfernung der Tropfen von den Metallflächen ein, so dafs das Licht zwischen beiden durchgehn könnte, was jedoch von selbst daraus folgt, dafs die Adhäsion nur in unmefsbare Entfernung wirkt; inzwischen findet doch keine eigentliche Berührung, vielmehr nur eine Annäherung der Tropfen zu den Metallen statt, die sich ohnehin nur auf eine desto kleinere Fläche erstreckt, je mehr die Oberfläche des Tropfens sich der Kugelform, die des Metalles aber der geraden Ebene nähert. Bei rauhen Oberflächen, z. B. irdenen, bereits stark oxydirten metallenen u. s. w., ist die Summe der verschwindend kleinen Berührungsflächen zu grofs, als dafs die Adhäsion genügend vermindert werden könnte, um die Erscheinung hervorzubringen, abgesehn davon, dafs die Blänke der Oberfläche noch anderweitig bedingend mitwirkt. Bis soweit hat namentlich Döbereiner die Ursache der Erscheinung

ten, was M. L. Frankenheim in: Die Lehre von der Cohäsion u. s. w. Breslau 1835. S. 124 ff. hierüber sagt.

1 S. Art. *Adhäsion*. Bd. I. S. 208.

2 Ebendaselbst. S. 180.

3 Ueber eigentliche Repulsion der Wärme vergl. §. 471.

sehr richtig aufgefafst; auch haben BUFF und hauptsächlich POUILLET den wichtigen Umstand der aufgehobenen Adhäsion und Letzterer den Einflufs der Diathermanie sehr sachgemäfs hervorgehoben, wobei ich noch den Umstand erwähnen will, dafs bei jedem Einbringen eines neuen Tropfens ein kurz vorübergehendes Zischen gehört wird, wahrscheinlich in Folge der durch die mechanische Gewalt verstärkten momentanen Berührung, wie man das Zischen auf gleiche Weise bemerkt, wenn man mit einem nassen Finger über das erhitzte Metall hinfährt, ein neuer Beweis gegen die Zulässigkeit der von PERKINS angenommenen übergrofsen Repulsion. Ist dann einmal die Adhäsion zwischen der Metallfläche und der Flüssigkeit aufgehoben, so fällt damit der eigentliche Wärmeübergang aus ersterer in letztere von selbst weg, es findet blofs Strahlung statt und es tritt eine der oben (§. 231) erwähnten ähnliche Erscheinung ein, wonach die blanke Seite eines nach LESLIE's Angabe construirten Würfels dem in einigem Abstande befindlichen Finger nur unmerklich wenig Wärme zusendet, bei unmittelbarer Berührung aber sehr heifs zu seyn scheint. Unter diesen sämmtlichen vereint wirkenden Bedingungen kann die in den Tropfen übergehende Wärme, der vorhandenen Glühhitze ungeachtet, nicht bedeutend grofs seyn. Zuerst strahlt die Fläche, insbesondere wenn sie blank ist, nur wenig Wärme aus, da sie in Berührung mit sehr verdünnter, mit etwas vom auffallenden Tropfen gebildetem Dampfe vermengter Luft ist, die nicht durch neu hinzutretende ersetzt werden und daher die Strahlung nicht vermehren kann, sofern die Fläche der Platte und die Gröfse des Gefäfses die aufwärts steigende und seitwärts zuströmende Luft abhält. Zweitens hindert die blanke Oberfläche des Tropfens die Aufnahme der strahlenden Wärme, die wenige aufgenommene wird aber zur Bildung von Dampf verwandt, und da die hierfür erforderliche Menge sehr grofs ist, so steigt die Hitze des Tropfens nicht bedeutend. Drittens ist das Wasser nach MELLONI ein sehr diathermaner Körper, nicht alle aufgenommene Wärme bleibt in der Flüssigkeit, sondern ein grofser Theil geht hindurch, und zwar ein desto gröfserer, je mehr die anfängliche dunkle Wärme zur sogenannten leuchtenden wird. Alle diese vereinten Bedingungen genügen sicher zur vollständigen Erklärung der Phänomene, ohne zu anderweitigen künstlichen, mit

bekannten Naturgesetzen im Widerspruch stehenden Hypothesen seine Zuflucht zu nehmen.

276) Die *Unverbrennlichkeit des menschlichen Körpers ist*, wie mich die Vergleichung der darüber vorhandenen Nachrichten mit eigenen Erfahrungen gelehrt hat, eine Erscheinung, die zuweilen einige Aufmerksamkeit erregt und dann wieder in Vergessenheit geräth, ohne durch hinlänglich umfassende und genügend gründliche Untersuchungen zur definitiven Entscheidung gebracht zu werden. Ist einmal die Rede davon, so kann man nicht umhin, sich der *Ordalien* zu erinnern, wovon sich eine der ältesten Spuren beim Sophokles[1] findet, wo sich der Bote zur Feuerprobe erbietet, um die Wahrheit seiner Aussage darzuthun. Ueber ihre Anwendung im Mittelalter ausführlich zu handeln ist hier der Ort nicht; auch kenne ich das Geschichtliche der Sache zu wenig, als dafs ich mir anmafsen dürfte, über die Einzelnheiten ein genügendes Urtheil zu fällen, namentlich über die dabei statt gefundene Verfahrungsweise, um darüber zu entscheiden, ob wirklich in einzelnen Fällen Menschen auf glühendes Eisen traten, ohne sich merklich zu verletzen. So viel scheint mir jedoch sicher, dafs die Verurtheilten vorher durch eigens beauftragte Geistliche vorbereitet wurden, bis die Probe mit gewissen Feierlichkeiten und in Anwesenheit mehrerer Personen erfolgte, worauf dann die der Feuerprobe ausgesetzten Glieder eingewickelt und demnächst untersucht wurden, um die Beschädigung oder die Unverletztheit derselben auszumitteln. Beachtenswerth scheint mir dabei zu seyn, dafs man nur glühendes Eisen anwandte, dafs aber die Procedur in Anwesenheit vieler Personen, worunter sich auch Laienbrüder befanden, vor sich ging, weswegen das Ganze nicht füglich als ein zum Schein angestelltes betrügliches Theaterspiel zu betrachten scheint, wenn gleich eine wissenschaftlich begründete Beurtheilung der Sache selbst aus Mangel an hinlänglich genauer und völlig zuversichtlicher Beschreibung des Thatbestandes stets unmöglich bleiben wird. Als die Ordalien längst abgekommen waren, liefsen sich von Zeit zu Zeit Künstler sehen, welche heifse Körper, namentlich glühendes Eisen, berührten, ohne ihre Haut wesentlich zu verletzen, wobei sie meistens mährchenhafte Erzählungen über di

1 Antigone v. 365.

zufälligen Ereignisse auftischten, wodurch diese ihre sogenannte Unverbrennlichkeit entdeckt worden seyn sollte. Uebergehn wir einige ältere Nachrichten[1] und auch das, was Leibnitz[2] berichtet, wonach das Ganze nur Täuschung seyn oder das Verbrennen durch die vorhandene Feuchtigkeit gehindert werden soll, so verdienen vorzüglich die im Anfange dieses Jahrhunderts an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen eine nähere Berücksichtigung. Die Gelegenheit dazu gab ein gewisser hagerer Mann mit tiefliegenden Augen und schwarzen krausen Haaren, welcher zu Toledo geboren seyn wollte, sich in Italien Lionetto, in Deutschland Roger nannte[3] und seine Kunststücke in Frankreich, Italien und Deutschland zeigte, dann bis Rufsland reisete, aber einigen mir zugekommenen Nachrichten nach sich in Petersburg bedeutend verbrannt haben soll, und von dem später nicht mehr die Rede war. Dafs seine Leistungen nicht auf Augentäuschungen beruhten, wie ein gewisser Dr. Müller[4] zu Bremen in einer über ihn veröffentlichten Broschüre behauptete, beweist die nachfolgende Erzählung glaubhafter Augenzeugen.

Der genannte Spanier zeigte seine, in den Tageblättern sehr übertriebenen Kunststücke, wenn wir uns auf das in wissenschaftlichen Zeitschriften bekannt Gewordene beschränken, zuerst 1803 in der *École de Médecine* zu Paris, wo einige Aerzte sie prüften und dem Institute Bericht darüber erstatteten[5]. Der Künstler scheint damals noch nicht so viel gewagt oder seine Haut noch nicht den höhern Grad der Unverbrennlichkeit erreicht zu haben, denn das Auffallende seiner Kunst-

---

1 Z. B. Journ. des Savans 1677. p. 54 u. 222. 1680. p. 292.

2 Acta Erud. Lips. Vergl. Wieglers Magie. Th. XVIII. S. 84. ach Leibnitz darf man es nur wagen, sich brennendes Siegellack uf die Zunge zu tröpfeln, so kann dieses ohne Nachtheil geschehn. ch habe mit einen Theil der Hand mit Speichel so stark wie mögch benetzt, aber dennoch erzeugte der Siegellucktropfen, den ich im allen ausblies, eine starke, später eiternde Blase.

3 Die Identität der Person kann ich des doppelten Namens geachtet wegen der genauen Uebereinstimmung seiner Kunststücke cht bezweifeln.

4 Der Unverbrennliche; oder wie macht es Herr Roger, um gen das Feuer gesichert zu seyn? Bremen 1807.

5 S. französische Annalen von C. H. Pfaff u. Friedländer. Jahrg. 03. Bd. III. S. 149. Vergl. Journ. de Phys. T. LVII. p. 66.

stücke wächst später bedeutend. In Paris berührte er mit der Ferse ein Pfund bis 106°,25 C. erhitztes Oel, tauchte seine Hand schnell in dasselbe und rieb sich zuletzt das Gesicht damit, als es nach dem Thermometer noch 94° Wärme hatte, seine Hand aber sogleich nachher 41°,25 zeigte. Es wurde eine kirschroth glühende eiserne Stange auf den Boden gelegt, über welche er mit der Fuſssohle hin und her fuhr, so daſs es rauchte und das Oel an einigen Stellen sich entzündete; etwas entstandenes Versengen leitete er von kleinen, auf dem Eisen hängen gebliebenen Schlackenstückchen ab. Hierauf bestrich er seine mit Schleim stark überzogene Zunge mit dem rothglühenden Ende eines eisernen Spatels, ohne sich zu versengen oder Inflammation zu bewirken; auch hatte sein Geschmack nicht merklich gelitten, denn man gab ihm nachher etwas Salpeter, Schwefelsäure und eine alkalische Lösung zu kosten, welche er genügend unterschied. Endlich fuhr er langsam mit einem brennenden Lichte unter seinem Arme und Schenkel hin und her, ohne sich zu verbrennen.

Dieser nämliche Spanier zeigte demnächst unter dem Namen Signor Lionetto seine Kunststücke zu Neapel, wo Sementini[1] die Sache näher untersuchte, zu München, wo Gehlen[2] alle Umstände genau beachtete, und zu Hannover, wo ich mich mit dem Oberbergrath Gruner und dem Medicinalrath Mühry zur Prüfung der einzelnen Thatsachen vereinigte. Um nicht die nämlichen Sachen zu wiederholen, werde ich die Angaben dieser drei Autoritäten zusammenstellen und sie nach der Reihe durch die Buchstaben S, G, M bezeichnen. Roger berührte mit der Fläche einer dünnen rothglühenden Ofenschaufel die Haare seines Kopfes (S, M), wobei keine Beschädigung erfolgte, doch stieg ein beträchtlich dichter Dunst auf (S). Hiernächst strich er mit dem Rande der wieder glühend gemachten Ofenschaufel mehrmals über seine nackten Arme und Schenkel, ohne daſs selbst die darauf sitzenden Haare versengt wurden (S, M), ungeachtet sehr kleine Partikelchen Phosphor dabei verbrannten, da er sich vorher mit ei-

1 Tilloch's Philos. Mag. N. 125. Bibl. Brit. 1809. N. 328. p. 383.

2 Schweigger's Journ. Th. III. S. 404. Gehlen will die Angaben Sementini's bloſs ergänzen.

ner Phosphorstange gerieben hatte (M). Hierauf berührte er wiederholt die Fersen mit glühendem Eisen, wobei die Berührung anhaltender war (S, M) und im Augenblicke, als der Fuſs an das Eisen kam, sich ein dem Auge und der Nase wahrnehmbarer Dunst entwickelte (S). Demnächst nahm er zwischen seine schwarzen und schadhaften Zähne ein Eisen, welches ihn hätte verletzen können, obgleich es nicht glühend war (S). Dieses Probestück sah ich von Roger nicht, dagegen aber wurde es von einem Frauenzimmer, die sich für eine Americanerin aus einem wilden Stamme ausgab, vermuthlich aber seine ihm nachreisende Frau war, auf eine unerklärbar merkwürdige Weise zu Marburg gemacht. Ihre übrigen Kunststücke kamen denen des Mannes keineswegs gleich, allein sie nahm zwischen ihre starken und gesunden, wenn gleich nicht schönen, vielmehr sehr gelben Vorderzähne das umgebogene glühende Ende eines Ofenhakens, womit man die Kohlen im Ofen aufzurühren und den Rost zu säubern pflegt, und trug diesen frei herabhängend, die Hände auf dem Rücken liegend, vor dem Halbkreise der Zuschauer herum, dessen Länge sicher 40 Fuſs betrug. Roger strich ferner mehrmals mit einem glühenden Ofenhaken nicht eben schnell über seine lang ausgestreckte, mit dickem weiſsem Schleim belegte Zunge (S, G, M), wobei er mir absichtlich, weil er bemerkt hatte, daſs ich mit meinen Freunden seine Kunststücke controlirte, so nahe kam, daſs ich, obgleich ungern, mein Gesicht der strahlenden Hitze wegen zurückbeugen muſste. Als sein stärkstes Kunststück, welches dem erwähnten Halten des Hakens zwischen den Zähnen wohl gleich kommen dürfte, betrachte ich folgendes. Nach ... stampfte er schnell mit der Fuſssohle, die durch Anziehung der Muskeln hohl gemacht war, auf eine 2 bis 2,5 Z. breite und einen starken halben Z. dicke glühende eiserne Stange in der ...ere, und weigerte sich, der Länge nach aufzutreten; ich sah aber ...es Kunststück auf folgende Weise. Eine etwa 4 F. lange, 2,5 Z. ...ite und 0,3 Z. dicke eiserne Schiene war in der Mitte auf ...a 1 Fuſs lang glühend gemacht; diese nahm er am einen ...de in die Hand, stampfte sie mit dem andern auf den Fuſs...den, daſs die Schlacken abfielen, trat dann mit der linken ...se dagegen, daſs sie bedeutend krumm wurde, drehte sie ...nell um und bog sie durch Auftreten mit derselben Ferse wie... gerade, legte sie dann schnell flach auf den Fuſsboden, stellte

sich mit dem hintern Theile der rechten Ferse darauf und drehte sich schnell in einem ganzen Kreise herum. Obgleich der Fuſsboden vorher durch aufgegossenes Wasser stark genäſst war und ROGER die Schiene sofort wieder aufnahm, der ganze Versuch überhaupt sehr schnell gemacht wurde, so hatte das Eisen doch in der Mitte fast eine Linie tief in den Fuſsboden eingebrannt. Es verbreitete sich sogleich ein sehr kenntlicher Geruch nach verbranntem Horn und wir untersuchten daher sofort seine Fuſssohle; diese war schwarz vom Eisen, nichts weniger als callös und heiſs, vielmehr weich und kalt, und erregte beim Anfühlen eine Empfindung, als wenn man den Bauch eines Frosches berührt. Demnächst trank er etwa einen halben Löffel voll heiſses Oel, indem er diese Flüssigkeit hinten auf die Zunge brachte (S, G, M); vorher aber lieſs er um dessen Hitze zu zeigen, einen sogenannten zinnenen (Zinnblei) Eſslöffel durch Eintauchen darin schmelzen (S, M), oder er sorgte dafür, daſs durch allerlei Manöver einige Abkühlung eintrat (G), auch wusch er sich mit den in das Oel getauchten Fingern die Augenbrauen, wobei im Momente der Berührung ein Zischen, wie vom verdampfenden Wasser, gehört wurde (M). Endlich schmolz er Zinnblei in einem eisernen Löffel, im Ganzen wohl 6 ℔, und berührte die geschmolzene Masse einige Male, aber sehr schnell, mit der Fuſssohle, indem er einen Theil der flüssigen Masse aus dem Löffel herausschleuderte (S, G, M). Eben dieses Kunststück machte die Frau in Marburg und zeigte hierbei die nämliche Behutsamkeit, ja sie goſs die geschmolzene Masse auf den Fuſsboden drehte oder stieſs sie vielmehr nach dem Gestehen einige Mal hin und her, um hierdurch gröſsere Abkühlung zu erzielen, faſste sie dann am dünnsten Theile mit zwei Fingern an und trug sie vor den Zuschauern herum. Als ein allerdings sehr auffallendes Kunststück sah GEHLEN, daſs er eine Stange Phosphor, ungefähr 0,5 Zoll lang, zwischen drei Fingerspitzen verbrennen lieſs, bis sie von selbst erlosch.

277) Man hat sich viele Mühe gegeben, diese Thatsache zu erklären. Einige wollten alles auf eine erhöhete Abstraction oder Willensthätigkeit zurückführen, wodurch Unempfindlichkeit gegen Schmerz erzeugt worden seyn soll, allein es kommt hierbei wohl gar nicht auf das Ertragen des Schmerzes an, wozu sich Menschen oft aus verschiedenen Ursachen verstehn, sonde[rn]

vielmehr, wie Gehlen richtig bemerkt, auf die nicht statt findende Zerstörung der gewiſs zerstörbaren animalischen Theile. In dieser Beziehung muſs ich bemerken, daſs die Frau, die ich in Marburg sah, um mehr aufzufallen überhaupt phantastisch angezogen und nur mit einem bis auf die Waden herabreichenden kurzen Rocke bekleidet war, daſs sie um ihre nackten Füſse aber ein schmales grünseidenes Band, als wenn sie Sandalen trüge, geschlungen und diese kreuzweise Umschlingung bis an die Waden fortgeführt hatte, wo die Enden festgebunden waren. Wollaston[1] bemerkt, daſs einer seiner Freunde oft über seine Zunge ein glühendes Eisen weggeführt und er selbst dieses nachgemacht habe, ohne weitere Unbequemlichkeit, als einen Geschmack nach Kohlenwasserstoff; man müsse zu diesem Ende nur Sorge tragen, daſs die Zunge hinlänglich benetzt sey und man das Eisen leicht und gewandt darüber wegführe. Das bei jedem Herüberführen wahrnehmbare Zischen finde ich von den übrigen Beobachtern nicht erwähnt, ich habe es aber deutlich wahrgenommen und es erleichtert die Erklärung, weil die Hitze des Eisens zur Verdampfung des Speichels verwandt wird. Tilloch setzt hinzu, daſs ein Bleigieſser in seiner Gegenwart seine Zunge mit einem glühenden Eisen strich, dabei aber bemerkte, dasselbe müsse ganz rothglühend seyn, weil man sich sonst verbrenne. Derselbe Arbeiter tauchte seinen Finger in geschmolzenes Schnellloth, mit der Bemerkung, der Finger müsse dabei ganz trocken seyn, weil sonst etwas Metall sich anhange und eine Blase ziehe. Derselbe hörte ferner von einem Freunde, daſs dieser auf einer Schmelzhütte einen Arbeiter gesehn habe, welcher das geschmolzene Eisen mit der Hand abschäumte, ohne sich zu verbrennen; aber dieses konnte nur dann geschehn, wenn das Eisen noch im Aufwallen war, bei minderer Hitze verbrannte er sich. Lichtenberg erzählte in seinen Vorlesungen bei der Wärmelehre, er habe einen Arbeiter in einer Kupferschmelzhütte gesehn, welcher von dem geschmolzenen Metalle mit der Hand ausschöpfte, für welches Kunststück er sich bloſs dadurch vorbereitete, daſs er die Hand einige Augenblicke in die Achselhöhle hielt, um daselbst mit etwas Feuchtigkeit überzogen zu werden. Manche führen an, daſs auch die Schmiede mit der Hand über glühendes Eisen

1 In Tilloch's Magaz. a. a. O.

hinfahren. Dieses, was ich oft gesehn habe, scheint mir der sprechendste Beweis dafür zu seyn, dafs Roger seine Haut präparirt haben mufste, denn das genannte Hinüberfahren geschieht sehr schnell und es verbrennt dabei allezeit der harte und dicke Callus, welchen solche Arbeiter in ihren Händen haben, der sich aber bei unserm Künstler nicht fand. Gehler erwähnt, dafs auch von andern Personen geringere Quantitäten siedend heifser Flüssigkeiten ohne Nachtheil verschluckt werden, und so möge dieses auch bei Roger der Fall gewesen seyn, welcher das heifse Oel gleichfalls hinten auf die Zunge brachte, eine hierbei nothwendige Bedingung, wenn man sich den Gaumen nicht verbrennen will. Man dürfte hierbei bemerken, dafs das Oel bei seiner geringeren Wärmecapacität, und sofern es die berührten Theile beim Hinabgleiten nur mit einer dünnen Lage überzieht, noch minder gefährlich sey, als die Brühen, welche die Köche und Köchinnen beim Versuchen der Speisen zuweilen gleichfalls in geringer Quantität hinunterschlucken[1].

278) Meistens nimmt man, und wie mir scheint aus triftigen Gründen, an, dafs Roger seine Haut vorher präparirt habe. Zwei Momente bieten sich hierbei von selbst dar und gehen auch übereinstimmend aus den Beobachtungen hervor. Zuerst werden die auffallendsten Versuche mit Eisen gemacht und dieses Metall mufs daher die Wärme am wenigsten leicht abgeben. Dieses wird hauptsächlich klar, wenn man gesehn hat, mit welcher Vorsicht und Behutsamkeit das geschmolzene oder auch schon erstarrte Zinnblei nur momentan berührt, eigentlich nur dagegen gestofsen wurde und mit welcher Dreistigkeit Roger sowohl, als auch die erwähnte Frau, hell glühendes Eisen behandelten. Man könnte annehmen, dafs das Eisen vorzugsweise die Wärme schwer abgebe, womit Boeckmann's oben (§. 260) erwähnte Versuche übereinstimmen, denn hiernach ist das Strahlungsvermögen des Eisens unter allen Metallen am kleinsten, nämlich 0,325, das des Zinnblei dagegen

1 Davenport in Ann. of Philos. T. IX. p. 111, vergl. Bulletin de la Soc. Philom, 1817, giebt an, man könne ohne Gefahr einen Finger in siedendheifses Theer von 102° C. Wärme tauchen, mit einem Handschuh werde man sich aber verbrennen. Letzteren Versuch stellte er aus Rüchsichten auf seine noch neuen Handschuhe nicht an.

0,713, mehr als doppelt so grofs, und wenn KLAPROTH's Beobachtungen beim Leidenfrost'schen Versuche (§. 271) hiermit nicht übereinstimmen, indem er die Zeiten des Verdunstens gleich grofser Tropfen auf Eisen, Silber und Platin = 40, 50 und 65 Sec. fand, so mufs man berücksichtigen, dafs die beiden letzteren Metalle weit schwieriger oxydirt werden und daher die im Leidenfrost'schen Versuche nothwendige Blänke ihrer Oberfläche ungleich besser behalten. Es giebt zugleich Gründe zu vermuthen, dafs gerade die stärkere Hitze vom Eisen am schwierigsten abgegeben wird, wenigstens spricht hierfür die erwähnte Beobachtung, dafs nur das noch im Aufwallen begriffene, also im höchsten Grade erhitzte Eisen mit der Hand abgeschöpft werden kann, und wenn die Erscheinungen im Leidenfrost'schen Versuche dieses nicht unterstützen, indem die Schnelligkeit der Verdunstung mit erhöheter Temperatur wächst, so mufs man berücksichtigen, dafs eben die letztere auch bei allen Metallen, wenn auch am wenigsten bei Platin, die Blänke der Oberfläche vermindert. Es sind also allerdings Gründe vorhanden, die zu dem Schlusse berechtigen, dafs gerade glühendes Eisen seine Wärme nicht leicht abgiebt, wie auch nothwendig der Fall seyn mufs, da die erwähnten seidenen Bänder an den Füfsen der genannten Frau beim Auftreten auf glühendes Eisen nicht verkohlt wurden, wobei jedoch das dichte Anliegen derselben an der Haut nicht unberücksichtigt bleiben darf.

279) Eben dieses führt uns auf das zweite, der Beachtung werthe Moment, nämlich die menschliche Haut mufs nur mit Schwierigkeit die Hitze des heifsen Eisens aufnehmen. Dieses folgt schon aus der nicht statt gefundenen Verbrennung der seidenen Bänder; denn ginge die Hitze in dieselbe so schnell über, wie z. B. in Papier, Holz u. s. w., so hätte deren Zerstörung nothwendig erfolgen müssen. Aufserdem aber ist ein solcher Zustand der Haut füglich denkbar, vermöge dessen sie zwar nicht unzerstörbar, aber doch so beschaffen seyn könnte, dafs eine Zerstörung derselben durch Hitze keine Inflammation zur Folge hätte. GEHLER bezweifelt nicht, dafs die menschliche Haut beide Eigenschaften etwa durch Säuren oder absoluten Alkohol erhalten könne, SEMENTINI giebt die hierzu dienlichen Substanzen bestimmt an, und mir selbst scheinen überwiegende Gründe vorhanden zu seyn, die zu der Annahme

berechtigen, dafs ROGER sich eines derartigen Mittels bedient habe. Abgesehn von der sonst unerklärlichen Unverbrennlichkeit seiner Haut, die nach der Reihenfolge der an verschiedenen Orten gezeigten Leistungen mit der Zeit vermehrt zu werden schien, sprechen hierfür folgende Gründe. Zuerst die Aussage von ROGER selbst. Nachdem wir ihn bei seinen öffentlichen Vorstellungen genügend controlirt hatten, ersuchten wir ihn, zu einer bestimmten Zeit in die Wohnung des genannten Oberbergrath GRUNER zu kommen, was er auch that; dort unterredeten wir uns vertraulich mit ihm, machten ihm begreiflich, dafs wir die Erzählung, er sey als Kind in Feuersgefahr gewesen und dabei habe sich zufällig seine Unverbrennlichkeit gezeigt, für ein Mährchen halten müfsten, und ersuchten ihn, uns offen zu bekennen, ob und welche Mittel er anwende, da wir ihm versprechen wollten, durchaus keinen ihm nachtheiligen Gebrauch davon zu machen. Er bekannte ganz offen, dafs er jene Fabel nur erzähle, um beim grofsen Haufen mehr Aufsehn zu erregen, allerdings aber wende er ein Mittel an, um seine Haut unempfindlich gegen die Hitze zu machen, auch würde er uns dasselbe gern mittheilen, da er uns für gewissenhafte Männer halte, allein in jenem Augenblicke habe ein Schriftsteller (Dr. MÜLLER[1] in Bremen) ihn öffentlich für einen blofsen Betrüger erklärt, obgleich er ihm seine Kunststücke nicht nachmachen könne, und dadurch bringe er ihn um die nothwendigen Mittel seiner Subsistenz. So viel wolle er aber sagen, dafs es der Stoffe verschiedene gebe, um den genannten Zweck zu erreichen; die einfachsten, aber auch minder wirksamen, seyen Säfte gewisser saftreicher Pflanzen, womit man die Haut mehrmals am Tage und anhaltend waschen müsse. ROGER liefs sich bei seinen Vorstellungen vorher einen Topf, wie er sagte, mit Wasser, bringen, womit er sich in Gegenwart der Zuschauer Arme, Hände, Schenkel, Füfse und Gesicht sark wusch, um darzuthun, dafs er keinen schützenden Ueberzug auf seiner Haut habe. Erst später fiel mir ein, dafs eben diese Flüssigkeit wohl ein Präservativmittel seyn möge, welches unmittelbar vor den Versuchen angewandt um so besser schütze. Als daher in Marburg dieselben Kunst-

---

1 Der Unverbrennliche, oder wie macht es Herr Roger, um gegen das Feuer gesichert zu seyn u. s. w. Bremen 1807. 8.

stücke von einer Frau angekündigt wurden, ersuchte ich einen meiner Schüler, wo möglich die Beschaffenheit dieses sogenannten Waschwassers ausfindig zu machen. Wirklich wurde der Topf mit dem Reste derselben so schnell bei Seite geschafft, dafs es ihm nur durch grofse Gewandtheit gelang, mit einem Finger hineinzutauchen; die Flüssigkeit war kein reines Wasser, sondern eine säuerlich zusammenziehende Auflösung. Sementini legt gröfseres Gewicht, als mir zulässig scheint, auf eine durch Gewohnheit entstandene Unempfindlichkeit der Haut, wofür er den Beweis vorzüglich aus dem am Schlusse der Vorstellungen hinzugefügten Kunststücke entnimmt, dafs Roger die Haut des Oberarmes mit einer starken Stecknadel durchstach (S, M) und an dem obern Theile dieser Stecknadel seine Uhr aufhing (M), wobei die Haut dem Durchstechen einen bedeutenden Widerstand entgegensetzte, mithin dicker und erhärteter als gewöhnlich zu seyn schien. Sementini suchte durch eigene Versuche die geeignetsten Präservativmittel aufzufinden. Säuren und einige saure Salze zeigten sich unwirksam, jedoch machten wiederholte Waschungen mit verdünnter Schwefelsäure seine Haut so unempfindlich, dafs sie die Hitze eines rothglühenden Eisens ertragen konnte. Demnächst versuchte er eine Alaunsolution in Wasser, die er so lange kochen liefs, bis sie schwammig wurde, und fand auch diese sehr wirksam; inzwischen stieg ihre schützende Kraft bedeutend, wenn er die präparirten Stellen wiederholt mit Seife wusch und abtrocknete, so dafs er dann die Berührung mit dem glühenden Eisen ohne Schmerz und selbst, ohne die Haare der berührten Stellen zu verbrennen, ertragen konnte. Vorzüglich hielt Sementini den Schleim auf Roger's Zunge für einen solchen schützenden Ueberzug, den er am besten nachmachte, wenn er die Zunge mit verdünnter Schwefelsäure präparirte, dann wiederholt mit Zucker bestreuete und mit Seife rieb. Gehlen ist nicht geneigt, diesen von allen Beobachtern wahrgenommenen Schleim für einen solchen Ueberzug zu halten, auch ist dieses nicht wahrscheinlich, da der Künstler viel redete, ehe er die Versuche mit der Zunge anstellte. Sementini[1] giebt später eine Mischung von 0,5 ℔. Alaun mit 4 Lt. Schwefelsäure und 2 ℔. Wasser als sehr wirksam an. Diese

1 Hermbstädt's Bulletin. Th. X. Heft 1 u. 5.

habe ich selbst sehr bewährt gefunden, indem sie nicht bloſs die Haut zu einem schlechten Leiter macht, sondern ihr auch die Geneigtheit zur Inflammation benimmt. Hat man die Haut anhaltend wiederholt mit dieser Flüssigkeit gewaschen, so kann man dreist mit einem stark rothglühenden Eisen darüber hinfahren, denn theils wird sie nicht leicht zerstört und selbst die Stellen, welche bräunlich geworden, gleichsam verkohlt sind, lassen sich nachher mit den Nägeln abkratzen, ohne daſs eine Blase entsteht. Höchst wahrscheinlich war daher die zum Waschen angewandte Flüssigkeit eine solche oder eine dieser ähnliche Mischung.

280) Das von Arthur Trevelyan zufällig erfundene tönende Instrument, *Wackler* (*Rocker*), *Wieger* (nach Seebeck), auch *Thermophon* genannt, ist einer der interessantesten physikalischen Apparate. Die Erfindung fällt in den Februar 1829; im Sommer 1831 wurde es in Edinburg und London bekannt, zu derselben Zeit erhielt ich durch die Güte des Professors Galbraith in Edinburg ein Exemplar vom Erfinder selbst zugesandt und machte im Februar 1832 eine kurze Notiz darüber bekannt[1], um dieselbe Zeit aber äuſserte sich Faraday[2], dem die Sache bekannt geworden war und welcher die Versuche wiederholte, ausführlicher darüber. Das Instrument, welches ich von Trevelyan selbst erhalten habe, unterscheidet sich hinsichtlich seiner Gestalt von den nachher bekannt gewordenen durch den Mangel des Knopfes am Stiele, auch ist dasselbe am obern Ende schräg abgeschnitten und wird an der Stelle, wo der schräge Schnitt beginnt, auf den Rand eines hohlen Bleicylinders von 2,5 bis 3 Z. Höhe und fast 2 Zoll Durchmesser so gelegt, daſs das Ende des Stiels auf dem Brete ruht, welches den Bleicylinder trägt. Die später bekannt gewordenen Exemplare haben im Wesentlichen folgende Gestalt. Auf einem Tische ruht ein massives bleiernes Parallele-
Fig. 50. pipedon B mit der obern stark gewölbten Fläche, gegen 4 Z. lang, 2 bis 2,5 Z. breit und bis an die Wölbung ebenso hoch, doch kann die Höhe auch etwas beträchtlicher seyn, wenn man beabsichtigt, eine Weingeistlampe darunter zu setzen.

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 466.

2 Edinburgh Journ. of Sc. N. S. N. XI. p. 141. Poggendorff's Ann. a. a. O. S. 463. Journ. of the Roy. Inst. N. IV. p. 119.

Der darauf zu legende Wackler besteht aus einem 4 bis 5 Z. langen, 1,5 bis 1,75 Z. breiten und 0,4 Z. dicken Stücke Kupfer[1], oben ganz flach oder besser muldenförmig bis 2 Lin. vom Rande der Länge nach ausgehöhlt, unten nach beiden Seiten hin von der Mitte aus bis zur Tiefe von 1 bis 1,5, selbst 2 Linien schräg weggeschnitten, so dafs in der Mitte der Länge nach eine fast 2 Lin. breite, mit einer 0,5 Lin. breiten und fast ebenso tiefen Furche versehene ebene, der oberen parallel laufende Fläche geblieben ist. In dieses Stück A wird ein kupferner oder auch messingner, 1,5 Lin. dicker, etwa 6 Zoll langer Draht eingeschraubt, eingesteckt oder genau mit der Metallmasse verbunden, an dessen Ende sich eine etwa 0,8 Z. dicke Kugel befindet. Wird dieser Wackler so, wie die Figur zeigt, kalt auf den Bleiklotz gelegt, so dafs er auf der schmalen unteren Fläche ruht, und an einer Seite niedergedrückt, so schwankt er etliche Male hin und her, bis er bald wieder zur Ruhe kommt, ist er aber vor dem Hinlegen über einer Weingeistlampe stärker, als zum Siedepuncte des Wassers, erhitzt oder giebt man ihm im Liegen diese Temperatur, so finden diese Schwankungen anhaltend statt und sind mit einem nach dem Hitzegrade höheren oder tieferen Tönen verbunden, welches durch Erhalten dieser, wenn gleich etwas wechselnden Temperatur leicht Stunden lang ohne Unterbrechung fortdauert. Man kann den Wackler auch auf einen 4 bis 5 Z. im Durchmesser haltenden, 2 Lin. dicken und etliche Zoll hohen hohlen Bleicylinder legen, so dafs etwa seine Mitte auf dem einen und der Stiel auf dem andern Rande des Cylinders ruht.

281) Diese ursprüngliche Gestalt des Instrumentes läfst sich zwar auf mehrfach verschiedene Weise modificirt darstellen, allein die Wissenschaft gewinnt dadurch nicht und man wird sich daher hiermit begnügen, wenn man zugleich dasjenige berücksichtigt, was bei den Versuchen, dieses Phänomen zu erklären, nicht unbeachtet bleiben darf und demnächst erwähnt werden soll. Eine interessante und praktische Modification ist aber folgende. Ein kupferner Ring von etwa 3,5

1 Allgemein wird Kupfer angegeben, und dieses Metall ist auch geeignetsten, allein das von Trevelyan erhaltene Exemplar ist in einem Stück gegossenes Messing.

Zoll Durchmesser, 2,5 bis 3 Lin. Höhe und 2 Lin. Dicke, kantig gearbeitet[1], wird nach gehöriger Erhitzung auf einen bleiernen Klotz horizontal gelegt, welcher 4 Zoll lang, 1,5 Zoll breit, 2 bis 2,25 Zoll hoch ist und dessen verticaler Durchschnitt entweder ganz oder auf jeden Fall an den beiden Stel-
Fig. 51. len, wo der Ring aufliegt, die in der Zeichnung ausgedrückte Gestalt hat. Ist der Ring vorher erhitzt worden oder setzt man nach dem Auflegen desselben auf den Bleiklotz eine brennende Weingeistlampe abwechselnd unter die eine und die andere überragende Seite, so wird er anfangen, auf- und abwärts zu oscilliren, was zwar nicht mit einem Tönen verbunden ist, desto deutlicher aber zeigen sich die sehr bedeutenden Schwingungen, denen ähnlich, die das eigentliche Instrument macht und deren gleichmäfsige Folge in gleichen Zeiten die Ursache des Tönens ist. Auch diese letzteren lassen sich vergröfsert sichtbar darstellen, wenn man quer über das Instrument einen 12, 18 bis 24 Zoll langen Grashalm legt, ja selbst mit einer dünnen Glasröhre ist mir dieses oftmals gelungen. Endlich gewahrt man das Tönen selbst dann, wenn man eine geeignete Kupferstange erhitzt und auf eine bleierne Unterlage legt. TREVELYAN legte sogar eine 10 oder mehr Zoll lange, in der Mitte platt ge-
Fig. 52. schlagene Messingstange mit einer Kugel an jedem Ende quer über den Wackler, um die Vibrationen vergröfsert darzustellen, und hörte das Tönen noch, als ein solches Instrument von 5 Z. Länge, 2 Z. Breite und $\frac{3}{8}$ Z. Dicke (ohne den Draht mit dem Knopfe gerechnet) auf Blei liegend mit 12 ℔. belastet war. Nach ihm wird der Ton höher und stärker, wenn man den Wackler in der Mitte mit einer Metallspitze drückt, intensiver, wenn man die Unterlage oder nur den Tisch, worauf das Instrument ruht, mit Metall berührt. Ueberhaupt ist es interessant zu lesen, wie derselbe zu dieser Entdeckung zufällig gelangte und mit wie vielen Metallen unter mannigfaltigen Modificationen er die Erscheinung weiter verfolgte[2], was ich hier der Kürze halber übergehe.

---

1 Mit einem Ringe, aus einem runden Stabe bestehend, habe ich keine Versuche angestellt, zweifle aber nicht, dafs er gleich gute oder noch bessere Dienste leisten würde.

2 London and Edinb. Phil. Mag. N. XVII. p. 321. N. XXXII. p. 85. Edinburgh Phil. Trans. T. XII.

282) Die Aufgabe der Physiker war zunächst, die Ursache dieser Phänomene aufzufinden, die aufgestellten Erklärungen lassen sich aber füglich auf drei zurückbringen. Die erste wurde gleich anfangs von FARADAY[1] gegeben, dem der Erfinder das Instrument zeigte und welcher die Erscheinungen bei der Wiederholung bestätigt fand. Nach ihm berührt der Wackler das Blei in zwei Puncten, die sich durch die mitgetheilte Hitze zu zwei Hügeln erheben. Neigt sich der Wackler zufällig zur Seite[2], so erkaltet der frei gewordene Bleipunct und sinkt zusammen, der Wackler fällt zurück, der andere unterstützende Bleipunct wird frei, sinkt zugleich und so folgen die Oscillationen regelmäſsig auf einander. Auſserdem wirkt hierbei mit die Expansion und Contraction des Bleies in horizontaler Richtung, vermöge welcher der erhitzte Stützpunct sich stets gegen den jedesmal erkalteten bewegt. Diese Wirkung ist indeſs sehr unbedeutend und kann bei der Betrachtung vernachlässigt werden. Dieser Erklärung hat man einige nicht unwichtige Argumente entgegengesetzt. Zuvörderst ist die Bedingung eines zufälligen Anstoſsens keineswegs erforderlich und damit fällt der Anfang der Bewegung, also auch der Grund ihrer Fortdauer, von selbst weg. Zweitens schien es unmöglich, daſs bei einem in der Luft liegenden Bleicylinder eine hierbei vorausgesetzte so bedeutende Vermehrung und Verminderung des Volumens durch die im Ganzen so geringe Menge der mitgetheilten Wärme entstehn könnte, als die Gröſse der Oscillationen erfordern dürfte. Noch weniger schien drittens dieses in so kurzen Zeitintervallen möglich, denn es erfolgen der Vibrationen 600 bis sogar 800 in einer Zeitsecunde. Endlich viertens müſste dann die Erscheinung auch bei glei-

1 Edinb. Journ. of Sc. N. S. N. XI. p. 141. Journ. of the Roy. Inst. N. IV. p. 119. Poggendorff's Ann. XXIV. 470. LESLIE äuſserte nur im Allgemeinen, die Ausdehnung des kälteren Metalles durch die Wärme des heiſsen sey die Ursache des Phänomens.

2 Es ist zwar richtig, daſs der Wackler zu vibriren beginnt, wenn man ihn anstöſst, auch erfolgte dieses, wenn er bereits zur Ruhe gekommen ist, aufs Neue, allein die Oscillationen beginnen auch, namentlich beim Ringe, ohne irgend einen äuſsern Impuls, sobald die Hitze durch eine untergestellte Weingeistlampe den gehörigen Grad erreicht hat; ohne Erbitzung oscillirt der Ring nie von selbst, und nach dem Anstoſsen kommt er sehr bald wieder zur

chen Metallen statt finden und sich bei den am besten Wärme leitenden am auffallendsten zeigen, wie auch nicht minder dem Unterschiede der Temperaturen beider direct proportional seyn, wovon gerade das Gegentheil statt findet.

283) Eine zweite Erklärung hat verschiedene Anhänger gefunden und ist vorzugsweise durch Brandes[1] inSchutz genommen worden. Wenn Metalle erwärmt werden oder nach erhaltener Hitze erkalten, so vertheilt sich die Wärme in ihnen wegen ungleicher Beschaffenheit ihrer Theile nicht vollkommen gleichmäſsig, und dieses bewirkt das allgemein bekannte Knacken, was man namentlich so oft an Ofenthüren, Ofenröhren, eisernen Ofentrommeln u. s. w. wahrnimmt. Aehnliche Erscheinungen kommen in Menge vor, ja es gehört dahin auch das oft wahrgenommene Ertönen erkaltender Metallmassen, wie namentlich Gilbert[2] bei Gelegenheit eines auffallenden Beispiels beim Silber erörtert hat. Kehren diese einzeln als ein Knacken erscheinenden Geräusche in hinlänglicher Menge und in gleichen Zeitintervallen wieder, so muſs hieraus ein Ton entstehn, wie zuerst Laplace bemerkt zu haben scheint. Diese Hypothese hat allerdings groſsen Schein für sich, allein diese Contractionen finden bloſs im Innern der Körper statt und können ihrer Natur nach nicht füglich so zahlreich und gleichmäſsig erfolgen, als zur Erzeugung eines so regelmäſsigen Tones erforderlich wäre; auf jeden Fall aber wäre es unmöglich, hieraus die sichtbaren Oscillationen der vibrirenden Massen abzuleiten.

284) James Forbes[3] war der Erste, welcher nach dem Erfinder das Phänomen nebst seinen verschiedenen Modificationen ausführlich untersuchte; es wird aber genügen, nur die Hauptsachen der von ihm erhaltenen Resultate mitzutheilen. Zuerst widerlegt er auf directe Weise die ohnehin nicht plausibele Hypothese Trevelyan's, daſs der Ton durch einen in der Furche des Wacklers sich bewegenden Luftstrom entstehe, und tritt der Ansicht Faraday's bei, welcher den Ton aus den Stöſsen des Apparates auf die Unterlage ableitet, weswegen

1 Vorlesungen über die Naturlehre. Th. III. S. 29.

2 Dessen Annalen. Th. XXII. S. 323.

3 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XIX. p. 15. N. XXI. p. 182. Edinb. New Phil. Journ. XXXI. 183.

es auch bei den zu langsamen der Ringe fehlt. Die Furche dient vielmehr dazu, die Berührungsfläche zwischen Kupfer und Blei kleiner zu machen und dadurch die Schnelligkeit der Vibrationen zu befördern, wozu dann zugleich die angegebene, von Forbes hinzugefügte Aushöhlung der oberen Seite mitwirkt, indem sie den überwiegenden Einfluſs des Schwerpunctes in der Mitte zu beseitigen und die Oscillationen nach beiden Seiten zu erleichtern dient. In der Mitte dieser ausgehöhlten Fläche befindet sich dann ferner eine Vertiefung zur Aufnahme eines Tropfens Quecksilber, an welchem man die Vibrationen sehen und mittelst dessen man die angenommene Wärme annähernd messen kann. Die Zahl der Schwingungen eines gewöhnlichen Apparates, aus der Höhe des Tones bestimmt, stieg bis 430 und ging dann bis zu 20 herab, bei denen noch ein Ton hörbar zum Vorschein kam, unter günstigen Umständen stieg sie aber bis 700, ja 800 und noch höher. Die Oscillationen, welche das Tönen erzeugen, sind übrigens dieselben, welche man wahrnimmt, wenn das nicht erhitzte Metall angestoſsen wird und nach bloſs mechanischen Gesetzen von einer Seite zur andern fällt; diese letzteren aber nehmen nach eben diesen Gesetzen (der Pendelschwingungen) vom ersteren an gerechnet allmälig ab, statt daſs die tönenden fortdauern, an Zahl sogar zunehmen und verschiedentlich wechseln, wovon die Ursache bloſs in dem Einflusse der Wärme liegen kann.

Forbes fand als allgemeines Gesetz, daſs die Vibrationen bloſs bei metallischen Substanzen eintreten und niemals zwischen zwei gleichen Metallen, daſs ferner das eine Metall heiſs, das andere kalt seyn muſs. Indem aber das eine als Unterlage, das andere als vibrirend dient, so entstehn hieraus eine Menge Combinationen, wobei es sich bald ergiebt, daſs für das Gelingen des Versuches zwar jederzeit das nämliche Metall der beiden combinirten das heiſse und das andere das kalte seyn muſs, im Ganzen aber ist es schwer, die Metalle in Beziehung auf die Rolle, die sie hierbei am geeignetsten einnehmen, gehörig zu classificiren. Als Unterlage eignet sich am besten Blei, doch oscillirt auch dieses unter oder auf anderen Metallen, wenn es selbst von mittlerer Temperatur ist, die letzteren aber etwas über die Siedehitze des Wassers erwärmt sind. Mit Blei oscilliren die Metalle abnehmend in folgender Ordnung:

Silber, Kupfer, Gold, Zink, Messing, Platin, Eisen, Zinn. FARADAY deutete schon auf eine Reihenfolge zwischen diesen Metallen in der Weise hin, dafs nach Art der elektropositiven und elektronegativen jedes höher stehende erhitzt mit jedem unter ihm stehenden, und zwar der Weite des Abstandes in einem gewissen Verhältnisse proportional, tönen würde, was denn auch FORBES unter gewissen Modificationen bestätigt fand. Auf kaltem Zinn vibrirten Silber, Kupfer, Gold und Eisen, auf kaltem Eisen Silber, auf kaltem Zink kein anderes Metall als Silber. Mit Antimon und Wismuth vibrirt kein Metall; nur einmal fand dieses bei sehr heifsem Messing auf kaltem Antimon statt, doch will TREVELYAN[1] Vibrationen des 100° heifsen Kupfers und Messings auf einem kalten Ringe von Wismuth wahrgenommen haben. Weil schon FARADAY bei diesen Erscheinungen auf einen Einflufs der wärmeleitenden Kraft der Metalle hingedeutet hatte, so untersuchte FORBES mittelst FOURIER's Contactthermometer (§. 299) diese bei verschiedenen Metallen, und gelangte zu dem wichtigen Resultate, dafs die Vibrationen mit einer Intensität zum Vorschein kommen, welche (innerhalb gewisser Grenzen) dem Unterschiede der wärmeleitenden Kraft beider Metalle proportional ist, wobei dann das am schlechtesten leitende nothwendig das kalte seyn mufs. Zur genaueren Kenntnifs des Ganzen verdient noch bemerkt zu werden, dafs FORBES einen
Fig. Wackler aus Blei verfertigen liefs, in diesen an der unteren
53. Seite sowohl ein zusammenhängendes Stück Kupfer a, als auch zwei getrennte b und c einsenkte, und nach Erhitzung des Ganzen diese abwechselnd auf die Kante eines geeigneten Bleiklotzes oder Ringes legte. In beiden Fällen kommen die Vibrationen gleichmäfsig zum Vorschein und es wirkt daher jeder Berührungspunct für sich, so dafs es des Zusammenhanges einer gleichmäfsigen Masse nicht bedarf. Eine Verminderung der in Berührung kommenden Flächen hat auf den Ton Einflufs, und es dient hierzu nicht blofs die Furche in dem aufliegenden Wackler, sondern eine solche wird auch mit Vortheil in die Unterlage eingeschnitten, z. B. in den Bleiklotz worauf der Ring oscillirt. Sind in dieser Beziehung mehrere Bedingungen vereint, welche die Schnelligkeit der Vibrationen

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. XXXII. p. 85.

befördern, so wird der Ton höher, was auch zuweilen gegen das Ende der Erscheinung von selbst eintritt und daraus zu erklären ist, daſs die Amplitüden der Schwingungen dann kürzer werden. Vermehrung der Adhäsion, zwischenliegender Staub, Amalgam, Oel, ein Ueberzug von Oxyd u. s. w. können die Oscillationen gänzlich hindern. Eine Temperaturerhöhung bei dem besser leitenden Metalle ist unerläſsliche Bedingung, allein die leicht sich darbietende Folgerung, daſs das leichtere Gelingen des Versuches und die Menge der Vibrationen dem Temperaturunterschiede proportional seyn sollten, findet man nicht bestätigt. Mit Kupfer auf Blei geräth der Versuch am leichtesten, und es genügt dabei schon ein Temperaturunterschied von 84° C. Eisen auf Blei wird träger, wenn die Hitze des Eisens weit über den Siedepunct des Wassers hinausgeht, ja die Vibrationen hören zuletzt ganz auf. Im Allgemeinen läſst sich hierüber kein Gesetz aufstellen und es scheinen in dieser Beziehung für die einzelnen Metalle verschiedene Verhältnisse obzuwalten.

285) Rücksichtlich der Erklärung dieser Phänomene zeigt Forbes zuerst die Unhaltbarkeit der durch Faraday aufgestellten Hypothese aus dem Grunde, weil hiermit die Schnelligkeit der auf einander folgenden Oscillationen nicht wohl vereinbar sey, auſserdem aber die angenommene Wirkung sich selbst aufhebe, insofern das kalte Metall seine Ausdehnung nur durch Aufnahme der Wärme von dem heiſsen erhält, welches dadurch ebenso viel verlieren und sich daher nahe um eine gleiche Gröſse zusammenziehn müſste. Nachdem er sich demnächst durch genaue Würdigung der Thatsachen genügend überzeugt hatte, daſs überall keine Thermoelektricität im Spiele sey, sah er sich genöthigt, das Phänomen bloſs auf die Wirkung der Wärme zurückzubringen, wonach das Ganze auf folgenden Satz zurückkommt: *beim Uebergange der Wärme aus einem Körper in einen andern, welcher eine geringere wärmeleitende Kraft hat, findet Repulsion statt.* Diese Repulsion zeigt sich bloſs bei Körpern, deren Wärmeleitungsvermögen so groſs ist, als dieses bei gewissen Metallen gefunden wird; die Repulsion wird in verschwindenden Zeitmomenten erregt, und ihre Stärke ist dem Unterschiede sowohl des Leitungsvermögens, als auch in gewissem Maſse der Temperatur beider Metalle proportional und muſs vorzugsweise

dann eintreten, wenn die Wärme aus einem bessern Leiter in einen schlechteren übergeht.

Forbes weist dann nach, dafs auch andere Phänomene existiren, die auf eine Repulsion der Wärme hindeuten, wobei er sich vorzüglich auf die Versuche von Fresnel[1] und Saigey[2] bezieht. Allein abgerechnet, dafs der erste dieser Versuche offenbar eine andere Deutung erfordert[3], die letzteren aber noch problematisch sind, würde eine blofse Repulsion, als stetig wirkend, zur Erklärung hier nicht ausreichen. Die Berührung beider Metalle ist nicht innig, dennoch aber wird die Wärme leichter von dem kälteren, wenn auch schlechter leitenden Metalle aufgenommen, als von der zwischenliegenden Luft, eine Stagnation derselben zwischen beiden Metallen und dadurch erzeugte Repulsion ist daher nach dieser Ansicht nicht wohl denkbar, wir müfsten vielmehr eine Anziehung beider Metalle annehmen. Genauer scheint mir daher die Erklärung auf folgenden Principien zu beruhn. Beide Metalle berühren einander genau und um so inniger wegen der statt findenden Stöfse gegen einander. Im Momente der Berührung geht die Wärme aus dem heifseren in das kältere über, sie hat vermöge stärkerer Leitungsfähigkeit des ersteren eine gröfsere Geschwindigkeit, als sie im letzteren erhalten kann, wird daher in der Berührung der Oberfläche des letzteren verzögert, und äufsert somit eine Repulsion gegen das erstere. Dafs aber die Wärme eine für diese Wirkung genügende Repulsion äufsern könne, kann nicht zweifelhaft seyn, da die Ausdehnung durch Wärme alle Bande der Cohäsion überwindet, und die Vorstellung hat daher nichts an sich Widerstreitendes, dafs der Wärmestoff, welcher zwei Molecüle des nämlichen Körpers von einander entfernt, auch in dem Augenblick, wo er aus einem gut leitenden Körper in einen schlecht leitenden übergeht, die sich berührenden Molecüle beider von einander zu entfernen das Vermögen habe. Inzwischen hat neuerdings Seebeck[4] das interessante Problem einer ebenso ausführlichen als gründlichen Untersuchung unterworfen. Zuerst werden von ihm die haupt-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XIX. p. 57 u. 107.

2 Bulletin des Sciences mathém. T. IX.

3 Vergl. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 547. Anm. 3.

4 Poggendorff's Ann. LI. 1.

sächlich durch Trevelyan und Forbes aufgefundenen Thatsachen übersichtlich zusammengestellt und diejenigen Puncte herausgehoben, worin beide von einander abweichen, wobei sich im Allgemeinen, wenn man die neuen Versuche hinzunimmt, die Seebeck selbst angestellt hat, herausstellt, daſs die Gesetze, welche Forbes aufgefunden zu haben behauptet, zwar dann als richtig gelten können, wenn von einem leichteren Hervortreten des Phänomens die Rede ist, handelt es sich aber um die Frage, ob überhaupt Oscillationen, wenn auch durch etwas künstlichere Vorrichtungen und minder sicher, zu erhalten sind, so erscheinen jene Gesetze als zu enge. Namentlich traten die Oscillationen dann auch in mehreren Fällen ein, wo sie früher nicht erhalten wurden, wenn der Wackler auf zwei Spitzen gelegt wird, die entweder einem gemeinschaftlichen gröſseren Metallstücke angehören, oder für sich neben einander in geringem Abstande durch Einklemmen in einen Schraubstock festgehalten werden. Eine wesentliche Modification des Apparats bestand aber darin, daſs Seebeck den horizontal liegenden Wackler mit einer an ihm befestigten, vertical herabhängenden, zwei bis drei Fuſs langen hölzernen Stange versah, die er noch obendrein unten mit Gewichten belegte, wodurch also die Schwingungen langsamer werden und die Gröſse der Wärmewirkung, welche diese Schwingungen erzeugt, sich messen läſst. Eine unten angebrachte Scale verstattet die Amplitüden der Schwingungsbogen zu messen und zeigt deren Fortdauer oder Abnahme. Lag z. B. der heiſse Wackler von Kupfer auf kaltem Blei, so dauerten die Schwingungen ohne Unterbrechung fort, war aber das Blei heiſs und das Kupfer kalt, so kam es fast dreimal schneller zur Ruhe, als wenn beide kalt waren[1]. Als wichtige Thatsache wurde zuerst aufgefunden, daſs auch Kupfer auf Kupfer in Schwingungen erhalten wird, wenn die Unterlage aus zwei Spitzen besteht, weil dadurch, wie Seebeck meint, die lineare Ausdehnung der dünnen Spitzen vermehrt wird. Ebenso kann man die Ordnung der Metalle umkehren und dasjenige Metall, was im einen Ver-

---

1 Man muſs hierbei voraussetzen, daſs das heiſse Blei die Unterlage bildete, denn sonst stände diese Thatsache S. 17 im Widerspruche mit der S. 20 behaupteten, daſs heiſses Blei auf kaltem Kupfer vibrirt habe.

suche die Unterlage bildet, im andern als Wackler anwenden, indem sogar heifses Blei auf zwei Kupferdrähten und auf Eisen zu oscilliren fortfuhr. Hierauf wird die Behauptung gegründet, dass jedes heifse Metall auf jedem kalten zu schwingen vermöge. Am meisten Beachtung verdient, dafs SEEBECK die Höhen zu messen vermochte, durch welche die über den Spitzen befindlichen Stellen des Wacklers herabfielen, bis sie die unterstützenden Spitzen erreichten, und diese den linearen Ausdehnungen der unterstützenden Drähte und ihrem Wärmeleitungsvermögen angemessen fand, wie eine hierüber aufgestellte Berechnung ergab. Hiernach fand er die Hebung, d. h. die periodische Ausdehnung und Zusammenziehung, welche die Drähte in ihrer Längenrichtung durch die wiederholte Berührung mit dem heifsen Wackler und die darauf folgende Abkühlung erleiden, abhängig 1) vom Ausdehnungscoefficienten; 2) von der Dicke der Drähte; 3) von der Länge und 4) von der Wärmeleitung und Wärmecapacität derselben. Alles dieses spricht sehr entscheidend für die durch FARADAY aufgestellte Hypothese, und diese dürfte daher so lange als gültig betrachtet werden, bis sie durch eine gleich gründliche Untersuchung widerlegt und die ihr entgegenstehende von FORBES als den Thatsachen angemessener dargestellt worden seyn wird. Immerhin wird schwer vorstellbar bleiben, wie den berührten Stellen in so kurzer Zeit, die nach SEEBECK selbst in Gemäfsheit der Zahl der Oscillationen in manchen Fällen nicht mehr als 0,001 Sec. beträgt, eine zur gehörigen Ausdehnung erforderliche Temperaturerhöhung, die zu 37°,5 angegeben wird, mitgetheilt und von ihnen bis zum Verschwinden wieder abgeleitet und ausgestrahlt werden kann. Merkwürdig bleibt aufserdem, dafs der Wackler nach der ersten Gestalt und der oben erwähnte Ring auf Blei ruhig liegend ersterer durch eine, letzterer durch zwei untergestellte Weingeistlampen von selbst zu oscilliren anfangen, was durch genaue Versuche mit Entfernung auch der kleinsten Erschütterung constatirt werden müfste, so wie endlich der Umstand, dafs der Ton so oft bald zu einem bedeutend höheren, bald tieferen überspringt, was aus FARADAY's Hypothese nicht hervorgeht.

2) Fortpflanzung der Wärme in den verschiedenen Körpern; Wärmeleitung.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich auf die Abgabe und Annahme der Wärme, ohne eigentliche Rücksicht auf dasjenige, was dabei in den andern, mit im Conflicte befindlichen, Körpern vorgeht; wir müssen jetzt aber diejenigen Erscheinungen prüfen, die sich dann zeigen, wenn die Wärme in den Körpern ungleich vertheilt worden ist und dieselben in gegebenen Richtungen durchströmt, um sich ins Gleichgewicht zu setzen. Dabei bleibt das Verhalten derjenigen Körper, welche gleichzeitig Wärme den zu untersuchenden Körpern zuführen oder sie von ihnen aufnehmen, zunächst unberücksichtigt, statt daſs dieses im nächstfolgenden Abschnitte vorzugsweise in Betrachtung kommt. Sofern es sich bei allen diesen Phänomenen um die Verbreitung der Wärme handelt, können sie zwar nicht scharf gesondert werden, auch pflegt man sie unter dem allgemeinen Namen der Wärmeleitung zusammenzufassen, inzwischen dürfte die folgende Eintheilung die Uebersicht des Ganzen erleichtern.

a) Fortpflanzung der Wärme durch Flüssigkeiten.

286) Nach der älteren Ansicht strömt die Wärme oder das Elementarfeuer, wie unter Andern Boerhave sich mit seiner gewohnten Bestimmtheit hierüber ausdrückt, ungehindert durch die Zwischenräume der Körper, und es müſste hiernach schon von selbst die Leichtigkeit dieser Strömung der Gröſse dieser Zwischenräume direct proportional seyn. Diesem gemäſs hielt man die dichtesten Körper für die schlechtesten Leiter, fand aber bald die Erfahrung hiermit im Widerspruche. Die neueren Untersuchungen haben gezeigt, daſs sich hierüber so leicht kein allgemeines Gesetz aufstellen läſst und mehrfache Bedingungen, namentlich auch die specifische Wärmecapacität der Körper, dabei in Betrachtung kommen, weshalb die Thatsachen erst auf dem Wege der Erfahrung auszumitteln sind. Bei den Flüssigkeiten liegt ein bedeutendes Hinderniſs eben in der leichten Beweglichkeit derselben, und es kann daher eine reine und unbedingte Fortleitung der Wärme bei ihnen in der Art, wie

bei festen Körpern, gar nicht statt finden, indem diejenigen ihrer Theile, welche Wärme aufgenommen haben, in Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes aufsteigen und dieselbe auf diese Weise schneller, als durch bloſse Leitung, von einem Orte zum andern, im Allgemeinen in die Höhe führen. Berücksichtigen wir zuerst die *expansibelen Flüssigkeiten*, so werden hieraus eine Menge bekannter Erscheinungen erklärbar. Im Ganzen sind sie sehr schlechte Wärmeleiter, wie vorzüglich RUMFORD[1] dargethan hat; indeſs kenne ich keine Versuche, welche direct zur Ausmittelung der Wärmefortpflanzungsgesetze, mit Ausschluſs des Einflusses ihrer Beweglichkeit, angestellt worden wären, alle beziehn sich vielmehr auf ihr Durchleitungsvermögen, was übrigens hiermit in nächster Verbindung steht. Wird der Einfluſs ihrer Beweglichkeit nicht ausgeschlossen, so ist das hierher Gehörige theils oben bei der Strahlung erörtert, theils rücksichtlich der Bewegung an sich im Art. *Luftheizung*[2] abgehandelt worden.

287) Die *tropfbaren Flüssigkeiten*, namentlich das Wasser, galten für gute Wärmeleiter, weil sie erhitzten Körpern ungleich schneller, als die Luftarten, ihre Wärme entziehn und die mit ihnen in Berührung gebrachten Körper, zunächst in Folge ihrer groſsen Wärmecapacität, schnell erkalten machen. Allerdings findet hierbei auch eine Fortpflanzung der Wärme durch die Masse der Flüssigkeiten statt; weil aber zunächst nur die Abkühlung der sie berührenden Körper in Betrachtung kommt, so ist das dahin Gehörige bereits bei der Strahlung (§. 263) erörtert worden. Beschränken wir uns dagegen ausschlieſslich auf das Fortpflanzungsvermögen, welches durch das Verhältniſs der Zeit, binnen welcher die Wärme gewisse Räume in der Masse der Flüssigkeiten durchläuft, gegeben wird, so hielt man die Flüssigkeiten, den Einfluſs ihrer Beweglichkeit nicht beachtend, gleichfalls für gute Wärmeleiter, bis RUMFORD[3] durch seine Untersuchungen zu der Be-

---

1 Philos. Trans. 1792. Daraus in Gren Journ. T. VII. p. 24[illegible] Vergl. dessen Exper. Essays. Ess. VI.

2 Vergl. Art. *Heizung*. Bd. V. S. 189.

3 Experimental Essays. Ess. VII. Lond. 1797. Gren n. Journ. T. IV. p. 418. G. I. 214. 323. II. 249. Nicholson's Journ. N. 1[illegible] Journ. de Phys. T. IV. Cah. 3 u. 4. Biblioth. Brit. T. XXXII. p. 12[illegible] THOMSON's Chemistry T. I. p. 91.

hauptung geführt wurde, die expansibelen sowohl als auch die tropfbaren Flüssigkeiten seyen absolute Nichtleiter der Wärme und letztere werde in ihnen blofs durch die Bewegung ihrer Theile fortgeführt. Diese Behauptung fand lebhaften Widerspruch und veranlafste einen anhaltenden Streit und eine Menge von Versuchen, weil es so ausnehmend schwer war, den Einflufs der Beweglichkeit der erwärmten Theile gänzlich auszuschliefsen, bis das Problem neuerdings durch unzweideutige Versuche entschieden worden ist. Wir wollen hierüber das Wichtigste mittheilen.

288) Kaum hatte Rumford seine anscheinend paradoxe Ansicht von der gänzlichen Unfähigkeit der Flüssigkeiten, die Wärme zu leiten, aufgestellt, als er auch eine Menge Gegner fand[1], deren mühsame Versuche genügend darthun, wie schwer es hält, irgend einen Satz unwidersprechlich zu begründen oder zu widerlegen. Rumford stützte seine Behauptung, dafs weder expansibele noch auch tropfbare Flüssigkeiten eigentliche Leiter der Wärme seyn können, auf das Argument, dafs jedes erwärmte Theilchen wegen der grofsen Ausdehnungsfähigkeit flüssiger Körper sogleich specifisch leichter wird und aufsteigt, mithin die aufgenommene Wärme mit sich fortführt und demnach nicht an ein benachbartes Theilchen abgeben kann. Dieses Aufsteigen findet allerdings statt, wie man vermittelst kleiner, in den tropfbaren Flüssigkeiten schwebender Körperchen leicht gewahrt, es dient daher vorzugsweise und im hohen Grade zur Verbreitung der Wärme in der ganzen Masse der expansibelen und tropfbaren Flüssigkeiten und somit zur Erklärung vieler Phänomene, insbesondere wenn man die gleichzeitig aufgefundene Entdeckung, dafs das Wasser über dem Gefrierpuncte am dichtesten ist, hinzunimmt; allein es folgt doch keineswegs, dafs nicht das aufsteigende Theilchen auch zugleich einige Wärme an berührende Theilchen abgeben und auf diese Weise die Wärme wirklich fortleiten könne. Inzwischen brachte Rumford einen in siedendem Wasser er-

1 Kurz erwähne ich de Luc in v. Crell's chem. Ann. 1798. Th. I. S. 288. G. I. 464. Hope in Edinb. Phil. Trans. T. V. p. 394 und Brewster in Philos. Trans. 1816. p. 106. Prevost in Journ. de Phys. 1811. Févr. Achard in Nouv. Mém. de Berlin. 1786. Uebers. in Crell's chem. Ann. 1787. Th. II. S. 195 u. 291.

hitzten eisernen Cylinder mit Vorsicht, um Strömungen zu vermeiden, bis zu 0,2 Z. Entfernung über eine Eisspitze in einem mit feinem Olivenöle angefüllten cylindrischen Glase, ohne dafs die Eisspitze schmolz oder im mindesten verändert wurde.

289) Gegen die Behauptung, dafs alle Flüssigkeiten absolute Nichtleiter der Wärme seyen, erklärte sich SOCQUET[1], indem er theils die Beweiskraft der Versuche angriff, theils ihnen andere entgegensetzte, die zur Widerlegung dienten, GRIMM[2] aus blofs oberflächlichen Gründen und NICHOLSON[3] in Gemäfsheit sinnreicher Versuche, die wir aber hier übergehn, um für andere, wohl noch wichtigere Raum zu gewinnen. MURRAY[4] brachte in einen hohlen Cylinder von Eis die Kugel eines empfindlichen, horizontal liegenden Thermometers so, dafs die Kugel sich in der Axe des Cylinders befand, gofs eine Schicht Mandelöl darüber, deren Oberfläche nur 0,25 Z. über die Kugel hervorragte, hing dann einen hohlen Cylinder von Eisenblech mit flachem Boden bis fast zur Berührung des Oels darüber auf und füllte diesen mit zwei Unzen siedenden Wassers. In 1,5 Min. stieg das Thermometer um 0°,41 C.; in 3 Min. um 1°,39; in 5 Min. um 2°,37; in 7 Min. um 3°,05, und wurde dann stationär. War die Oelschicht über der Kugel höher, so erfolgte das Steigen langsamer, aber selbst, wenn ihre Dicke 0,75 Z. betrug, stieg das Thermometer in 7 Min. um 0°,83 C. Quecksilber statt des Oels genommen gab gleiche Resultate, jedoch erfolgte das Steigen schneller, wodurch sich also diese Flüssigkeit nicht blofs als ein Leiter der Wärme, sondern auch als ein besserer in Vergleichung mit dem Oele zeigt. Aehnlich sind die Versuche von TRAILL[5], wodurch er zugleich das relative Leitungsvermögen der verschiedenen Flüssigkeiten aus der ungleichen Geschwindigkeit der durchströmenden Wärme auszumitteln suchte. Die Flüssigkeiten befanden sich, um Zuleitung von aufsen zu vermeiden, in einem hölzernen Gefäfse, in dessen Axe die Kugel eines horizontalen

---

1 Journ. de Phys. T. VI. p. 441. G. VI. 407.

2 G. VII. 361.

3 Dessen Journ. V. 197. Bibl. Brit. T. XVIII. p. 3.

4 System of Chimistry 3d ed. T. I. p. 305. Vergl. Nicholson's Journ. 8vo. T. I. p. 165 u. 241. G. XIV. 158.

5 Nicholson's Journ. T. XII. p. 137.

Thermometers 0,5 Z. unter der Oberfläche der Flüssigkeit zum Messen der Erwärmung diente. Die Oberfläche der Flüssigkeiten wurde dann mit einem bis zur Siedehitze erwärmten eisernen Cylinder berührt und die Zeit gemessen, binnen welcher das Thermometer um 1°,67 C. stieg. Hierzu waren erforderlich für

Quecksilber	0'	15"
ges. Lös. von schwefelsaurer Soda	6	30
Wasser	7	5
Weingeist	8	0
Eisenvitriol in 5 Th. Wasser	8	1
zerflossene Pottasche	8'	15"
Kuhmilch	8	25
ges. Alaunsolution	9	40
abs. Alkohol	10	45

Schon früher trat Thomas Thomson[1] als Gegner des aufgestellten neuen Gesetzes auf, wobei er zuerst die eigentliche Streitfrage sehr präcis feststellt, indem er die Behauptung, daſs sich die Wärme in den Flüssigkeiten vorzugsweise durch die Bewegung ihrer Theile verbreitet, als gültig zugesteht, die andere aber, wonach in ihnen bei völliger Ruhe ihrer Theile gar keine Fortpflanzung derselben statt finden soll, in Abrede stellt. Rumford fand, daſs Eis unter eiskaltem Wasser, wenn über letzteres eine Schicht heiſses gegossen wurde, schmolz, und leitete dieses davon her, daſs das zunächst unter dem heiſsen befindliche, um einige Grade erwärmte als specifisch schwerer herabsank; allein hieraus folgt doch nothwendig, daſs die nächsten tieferen kalten Wasserschichten von der oberen heiſsen Wärme annehmen muſsten, und wenn eine Schicht (ohne Mischung) Wärme von einer andern annimmt, so ist damit die Leitung von selbst gegeben. Mit gleichem Rechte zeigt er, daſs Rumford andere Resultate erhalten haben würde, wenn er statt einer Eisspitze ein Thermometer als weit empfindlicher gewählt hätte. Auſserdem aber stellte er directe Versuche an, indem er Quecksilber in eine tubulirte Retorte goſs, über dieses vorsichtig eine leichtere, gleich kalte, und hierüber dieselbe leichtere erhitzte so vorsichtig brachte, daſs keine Bewegungen entstanden. Aus dem Verhalten der drei Thermometer A, B Fig. 54.

---

1 a. T. V. p. 529. G. XIV. 129.

und C ergab sich, daſs die Wärme von oben herab weder durch Strömungen verbreitet, noch an den Wandungen des Gefäſses herabgeführt, sondern durch die Masse des Quecksilbers geleitet wurde. Auf gleiche Weise prüfte er Wasser und Schwefelsäure, die sich gleichfalls als Wärmeleiter, wenn auch als sehr schlechte im Verhältniſs zum Quecksilber zeigten. John Dalton[1] blieb bei diesem Streite kein müſsiger Zuschauer, sondern stellte eine groſse Reihe vielfach modificirter Versuche an, aus denen unverkennbar hervorging, daſs sowohl Wasser als auch Quecksilber die Wärme leiten und unter sich gegenseitig austauschen, wenn gleich das Leitungsvermögen, namentlich das des Wassers, in Vergleichung mit festen Körpern ein sehr geringes ist; indeſs ist dasselbe beim Eise noch ungleich geringer, denn als ein Eisstück, in dessen oberem Ende sich die Thermometerkugel befand, mit dem andern in eine kaltmachende Mischung getaucht wurde, sank das Thermometer erst nach geraumer Zeit um nicht mehr als 0°,28 C.

290) Während die genannten englischen Physiker den von Rumford aufgestellten Satz bestritten, waren auch einige unter den Deutschen nicht müſsig, und insbesondere lieſs sich Parrot[2] angelegen seyn, das wichtige Problem einer umfassenden genauen Prüfung zu unterwerfen, die Rumford selbst im Interesse der Wahrheit gewünscht hatte[3]. Zuerst beleuchtete er mit kritischem Scharfsinn die angegebenen Versuche nebst der Gültigkeit der aus ihnen abgeleiteten Schlüsse, und wies die Unhaltbarkeit derselben aus Gründen nach, die zum Theil schon erwähnt worden sind und hier füglich übergangen werden können, da man dieselben gegenwärtig bei dem vorgerückten Stande der Wissenschaft leichter selbst auffinden kann. Die directen Versuche bezogen sich auf das Wärmeleitungsvermögen der Luft, des Wassers und des Quecksilbers, wozu ein eigens construirter Apparat verwandt wurde. Dieser bestand aus einer Glasröhre mit einer Fassung, auf einem Dreifuſs vertical befestigt. Durch die Fassung ging die Röhre eines krummgebogenen Thermometers, dessen Kugel A so groſs war, daſs sie den inneren Raum der Röhre bis auf Papierdicke ausfüllte. Eben-

Fig. 55.

1 Mem. of the Soc. of Manchester. T. V. p. 473. G. XIV. 184.
2 G. XVII. 257.
3 Ebendaselbst XV. 241. 362.

dieses war der Fall bei dem eisernen Cylinder B, welcher in siedendem Wasser 5 Min. lang erhitzt, dann schnell abgetrocknet und an einem Drahte hängend in die Röhre herabgelassen wurde. Als sich in der Röhre Luft befand, stieg das Thermometer bei 1 Lin. Abstand des Cylinders von der Kugel in 7 Min. von 12°,9 R. bis 21°,3, bei 3 Lin. Abstand in 10 Min. von 13°,2 bis 18°,75, bei 6 Lin. Abstand in 10 Min. von 13°,8 bis 16°,3, bei 12 Lin. Abstand in 13 Min. von 13°,4 bis 14°,7. Als die Röhre mit Wasser so gefüllt war, dafs dieses durch den herabgelassenen Cylinder bis zur Oberfläche desselben hinaufgedrückt wurde, stieg das Thermometer bei 1 Lin. Abstand in 6 Min. von 14°,25 R. bis 24°,2, in 3 Lin. Abstand binnen 9 Min. von 14°,25 bis 21°,3, in 6 Lin. Abstand binnen 12 Min. von 14° bis 17°,7, in 12 Lin. Abstand in 15 Min. von 14°,25 bis 15°,35. Bei den Versuchen mit Quecksilber tauchte nur der dritte Theil des Cylinders in dieses Metall und das Thermometer stieg bei 1 Lin. Abstand in 2 Min. von 14°,3 bis 34°,4, bei 3 Lin. Abstand in 2 Min. von 14°,3 bis 30°,7, bei 6 Lin. Abstand in 3 Min. von 14°,2 bis 27°,4 und bei 12 Lin. Abstand in 6 Min. von 12°,6 bis 20°,9. Aus diesen Versuchen ergiebt sich, dafs Quecksilber ein guter, Wasser ein schlechter, Luft ein noch schlechterer Wärmeleiter sey; die gänzliche Abwesenheit des Leitungsvermögens bei Flüssigkeiten ist aber mit diesen Resultaten ganz unvereinbar. Inzwischen machte Parrot sich selbst den Einwurf, dafs die Wärme nicht durch die Flüssigkeit, sondern durch die Glasröhre geleitet worden seyn könne. In diesem Falle mufste die Wärme dann allerdings von der Seite zur Thermometerkugel gelangen und somit dennoch eine Leitung statt finden, allein Parrot begnügte sich hiermit nicht, sondern stellte einige neue Versuche an, bei denen er Quecksilber in die Röhre gofs, darüber etwas Wasser, zwischen welchem und dem heifsen Cylinder eine dünne Luftschicht blieb, während der Boden des Cylinders in 3 Lin., also in gleichem Abstande von der Thermometerkugel, als in einem der früheren Versuche, sich befand. Hierbei mufste das Thermometer gleich schnell steigen, wenn die Wärme durch die Glasröhre und demnächst durch Strömungen fortgepflanzt worden wäre, allein es stieg in 6 Min. von 12°,5 nur bis 17°,3. In Gemäfsheit der übereinstimmenden Resultate dieser zweckmäfsig angelegten und mit

Genauigkeit ausgeführten Versuche darf man wohl die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten als erwiesen betrachten[1].

291) Nach einer geraumen Zwischenzeit wurde die Streitfrage zur endlichen Entscheidung gebracht durch Versuche, welche Despretz[2] anstellte, worin er allen den strengen Forderungen genügte, welche gegenwärtig an diejenigen gestellt werden, die sich der Lösung einer solchen Aufgabe unterziehn. Als Apparat diente ein langer hohler Cylinder, welcher aufrecht gestellt und mit mehreren Thermometern versehn wurde, deren Kugeln sich in der Axe des Cylinders befanden, während die horizontalen Röhren derselben mit ihren Scalen durch die Wandungen herausragten. Die Oberfläche des Wassers in dem genannten Cylinder berührte der Boden eines kupfernen Gefäſses mit siedendheiſsem Wasser, welches durch eine geeignete Vorrichtung von 5 zu 5 Minuten erneuert wurde. Es ergab sich aus den erhaltenen Resultaten, daſs dann, wenn die so leicht entstehenden Strömungen vermieden werden, die Fortpflanzung der Wärme durch eine Wassersäule nach den nämlichen Gesetzen geschieht, als durch eine Metallstange. Obgleich dieses einfach aus theoretischen Gründen folgt und daher die Bestätigung desselben durch die Versuche nicht eigentlich auffallen konnte, so berücksichtigte dennoch Despretz die verschiedenen hiergegen vorgebrachten Einwendungen, und änderte daher seine Versuche in der Weise ab, daſs auch diesen dadurch begegnet wurde. Zu dem Ende wählte er einen weiteren Cylinder von 405 Millim. Durchmesser, 1 Met. Höhe und 28 Millim. Dicke der Wandungen. Auſser den Thermometern, deren Kugeln sich in der Axe des Cylinders befanden, brachte er noch eine zweite Reihe an, deren Kugeln nur 5 Millim. Abstand von der innern Seite der Wandungen hatten, und endlich eine dritte Reihe, deren Kugeln in die Wandungen selbst eingelassen, die Löcher aber mit Wachs verstopft waren, um den Einfluſs der äuſsern Luft abzuschneiden. Der unter sich

1 Einige Einwendungen Rumford's, hauptsächlich aus den *Löchern im Eise des Chamouni* hergenommen, in G. XVIII. 361 und Parrot's Widerlegung derselben ebendaselbst XXII. 148 übergehe ich.

2 L'Institut VI. Ann. N. 257 u. 285. Comte rendu 1838. T. VII. p. 933. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXI. p. 205. Poggendorff's Ann. XLVI. 340.

gleichmäſsige Abstand der ersten Reihe von Thermometern (deren Kugeln bis in die Axe des Cylinders ragten) von einander betrug 90 Millim., und um bei der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers dennoch zu genügenden Resultaten zu gelangen, dauerte die Versuchsreihe 60 Stunden, allein auch in dieser langen Zeit veränderten die untersten sechs Thermometer ihren Stand nicht, bloſs die oberen sechs zeigten das Gesetz der Wärmeleitung. Folgendes sind die erhaltenen Resultate:

Abstand von der Warmequelle	Stand der Thermometer im Centrum	5 Millim. von der Wand	in der Wahdung
0,091 Met.	42°,46	33°,45	25°,52
0,136 — —	33,82		
0,181 — —	28,03	23,20	19,45
0,226 — —	23,60		
0,271 — —	20,47	17,66	16,28
0,316 — —	18,22		

Die Formel für die Fortpflanzung der Wärme in einer metallenen Barre ist nach Poisson (vergl. §. 293):

$$u = A e^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}} + B e^{x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}}$$

und für eine unendlich lange Barre:

$$u = A e^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}},$$

worin u den Unterschied der Temperatur eines Punctes in der Entfernung x über die äuſsere, γ die äuſsere, k die innere Leitungsfähigkeit bezeichnen, A und B aber Constanten sind. Die Beobachtungen geben folgende geometrische Reihe, wie sie sich in einer unendlich langen Barre zeigen würden:

Temperaturen	Unterschied	Quotienten
42°,46 C.	29°,21 C.	1,42
33,82 —	20,57 —	1,39
28,03 —	14,78 —	1,43
23,60 —	10,35 —	1,43
20,47 —	7,22 —	1,43
18,22 —	5,03 —	1,44

Die äußere Temperatur war in den letzten drei Stunden anhaltend 13°,25 C. DESPRETZ prüfte mittelst dieser beiden ungleich weiten Cylinder auch das Verhältniss ihrer Durchmesser und den Quotienten der geometrischen Progressionen, die sie für endliche Größen zeigten. Nach POISSON N. 125 findet hierbei für metallene Barren das Gesetz statt, daſs $\frac{\text{Log.}\,q}{\text{Log.}\,q'} = \sqrt{\frac{D'}{D}}$, wenn q und q′ die Quotienten, D und D′ die Durchmesser bezeichnen. Die Versuche gaben $\frac{\text{Log.}\,q}{\text{Log.}\,q'} = 1{,}34$ und $\sqrt{\frac{D'}{D}} = 1{,}36$. Rücksichtlich der eigentlichen Frage ist durch diese Versuche wohl evident entschieden, daſs das Wasser allerdings nicht bloſs die Wärme durch seine Masse fortleite, sondern hierbei auch den nämlichen Gesetzen, als feste Körper, unterliege. Ueber andere Flüssigkeiten ist zwar nichts dadurch bestimmt, allein aus der Uebereinstimmung, welche sämmtliche Flüssigkeiten in den vielen andern Versuchen gezeigt haben, dürfen wir mit Grunde schlieſsen, daſs sie sich auf gleiche Weise als das Wasser verhalten. Dieses führt uns dann zu dem wichtigen Resultate, daſs die Fortpflanzung der Wärme durch tropfbare Flüssigkeiten nach den nämlichen Gesetzen geschieht, als durch feste Körper. Berücksichtigen wir die aus zahlreichen Versuchen hervorgehenden Resultate über die Fortpflanzung der Wärme in den Gasarten, vorausgesetzt, daſs die Bewegungen in denselben dabei keinen Einfluſs ausüben, so erstreckt sich die Folgerung noch weiter und führt zu dem allgemeinen Satze, daſs die Fortpflanzung der Wärme in allen Körpern, sowohl expansibelen, als auch tropfbar flüssigen und festen, nach dem nämlichen Gesetze geschieht, wobei jedoch gleiche Räume nach dem verschiedenen Leitungsvermögen der Körper sehr ungleiche Zeiten erfordern, und zwar in der Art, daſs für groſse Abstände bei schlecht leitenden Substanzen, als tropfbaren und insbesondere elastischen Flüssigkeiten, unendlich lange Zeiten erforderlich seyn würden. Machen wir endlich eine Anwendung auf den leeren Raum, von der Thatsache ausgehend, daſs die Geschwindigkeit der Leitung mit der Dichtigkeit der expansibelen Flüssigkeiten abnimmt, so führt uns dieses zu dem Schlusse, daſs die Him-

melskörper, welche durch Tausende von Meilen von einander getrennt sind, ihre Wärme wechselseitig auszutauschen nicht vermögen, weil hierzu eine unendlich lange Zeit erforderlich seyn würde[1]. Hypothetisch könnten wir hinzusetzen, daſs ein absolutes Vacuum gar nicht existirt, sofern Dämpfe und Aetherarten, namentlich der Lichtäther, überall verbreitet sind, deren Leitungsvermögen jedoch ihrer Dichtigkeit proportional, also verschwindend gering seyn müſste[2].

β) Fortpflanzung der Wärme in festen Körpern.

292) Die Fortpflanzung der Wärme in festen Körpern hat man, wie alle Erscheinungen ihrer Aufnahme, Abgabe und Verbreitung, unter dem gemeinschaftlichen Namen der *Wärmeleitung* zusammengefaſst. Dieser Mangel an Trennung der verschiedenartigen Erscheinungen hatte zur Folge, daſs die schlechtesten Wärmeleiter zugleich auch die besten seyn sollten, wie sich auffallend aus der (§. 260) mitgetheilten Tabelle ergiebt. Die Sache ist übrigens leicht begreiflich. Es versteht sich nämlich von selbst, daſs diejenigen Körper, welche die Wärme am wenigsten durch Attraction binden und daher am schwierigsten von einem Elemente zum andern übergehn lassen, sie auch am leichtesten abgeben (ein Verhalten, welches im Abschnitte *Strahlung* untersucht worden ist) und sich somit als die besten Wärmeleiter in diesem Sinne zeigen. Die mit den entgegengesetzten Eigenschaften versehenen Körper geben die Wärme schwer ab, erscheinen demnach als schlechte Wärmeleiter, nehmen sie dagegen begierig auf und führen sie sowohl leicht als schnell von einem ihrer Theilchen zum andern, sind also in dieser Beziehung gute Wärmeleiter. In diesem Abschnitte ist bloſs von der Fortpflanzung der Wärme im Innern fester Körper die Rede.

---

1 Diese Annahme würde gleichfalls am besten zu der §. 372 hypothetisch aufgestellten Theorie passen.

2 Es ist wohl zu merken, daſs der Durchgang der *strahlenden* Wärme, wovon unter Nr. 3 die Rede seyn wird, ganz verschiedenen Gesetzen *folgt*; namentlich geht die strahlende Wärme nach Melloni nicht durch Wasser, obgleich dieses nach den angegebenen Versuchen ein Leiter, wenn auch ein sehr schlechter, der gewöhnlichen Wärme ist.

Die ungleiche Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper zeigt sich täglich in zahlreichen Erscheinungen. Legt man das eine Ende gleich langer Stangen von Metall, Glas und etwa Pfeifenthon ins Feuer, so wird die Wärme in sehr ungleichen Zeiten sich auf gleiche Entfernungen verbreiten; man kann eine Glasstange und ein Pfeifenrohr wenige Zoll von ihrem glühenden Ende entfernt mit den Fingern ohne Nachtheil berühren, während die Metallstange hierzu eine zu hohe Temperatur angenommen hat. Die Körper müssen sich hierbei in einer kälteren Umgebung befinden, werden daher stets Wärme durch Strahlung verlieren, und es mufs demnach bei allen eine gewisse Entfernung von der Wärmequelle, aus welcher ihnen Wärme zuströmt, statt finden, in welcher die Menge der zugeführten Wärme der abgegebenen gleich ist, mithin kein Ueberschufs derselben mehr existirt; allein diese Entfernungen sind bei den verschiedenen Körpern ihrem Leitungsvermögen umgekehrt proportional. Die genaue Erörterung der Aufgabe zerfällt also in zwei Untersuchungen, zuerst welche Körper die Wärme am schnellsten fortleiten, und zweitens nach welchen Gesetzen diese Leitung überhaupt geschieht.

293) Ingenhouss[1] steckte gleich dicke und gleich lange Drähte verschiedener Metalle durch eine Scheibe, überzog sie oberhalb derselben mit Wachs und tauchte ihre unteren Enden in Oel, welches bis etwa zur Siedehitze des Wassers erwärmt war; die Höhe, bis zu welcher das Wachs in der nämlichen Zeit schmolz, gab ihm das Verhältnifs des Leitungsvermögens. Hiernach erhielt er aus 12 Versuchen im Mittel für die gangbaren Metalle folgende Reihe ihres abnehmenden Leitungsvermögens: Silber, Kupfer, Gold und Zinn gleich, Eisen, Stahl, Blei. Ure[2] wiederholte diese Versuche und erhielt folgende Reihe: Silber, Kupfer, Messing, Eisen und Zinn gleich, Gufseisen, Zink, Blei.

In neuerer Zeit hat man nicht blofs die *relative Leitungsfähigkeit* der verschiedenen Körper, sondern auch das *Gesetz* dieser Fortpflanzung auszumitteln gesucht. Zuerst ge-

---

1 Journ. de Phys. T. XXXIV. p. 68. Nouvelles Expér. p. 380. Verm. Schriften. Ueb. von Molitor, Wien 1784. Th. II. S. 343. Gren's Journ. d. Phys. Th. I. S. 154.

2 Herschel in Encycl. Met. Art. Heat. p. 299.

schah dieses durch Rumford[1], indem er das eine Ende einer eisernen Stange in ein mit kochendem Wasser, das andere in ein mit Eis gefülltes Gefäfs führte, in der Stange selbst aber drei gleich weit von den Enden und von einander abstehende Löcher anbrachte, in welche er etwas Quecksilber zur besseren Leitung gofs und in dieses die Kugeln dreier feiner Thermometer einsenkte. Er erwartete, dafs das mittlere derselben auch die mittlere Wärme der beiden andern angeben müsse, wonach das Gesetz der Fortleitung durch eine gerade Linie ausgedrückt würde, allein nach dem *Newton'schen Gesetze* mufs diese Linie eine logarithmische Curve seyn. Die theoretische Entwickelung dieses Gesetzes in Beziehung auf das vorliegende Problem gab zuerst Biot[2], welcher zugleich einige Versuchsreihen zur

---

1 G. XVII. 222.

2 Ebendaselbst XVII. 231. Ausführlicher in Traité de Phys. T. IV. p. 668. Vergl. Hauy in Journ. des Mines T. XVII. p. 203. Playfair in Edinb. Phil. Trans. T. VI. p. 355. Handelt es sich um diese Aufgabe im Allgemeinen, so erstreckt sich die Untersuchung auf die Verbreitung der Wärme im Raume überhaupt, ein namentlich von französischen Gelehrten mehrmals und mit grofsem Aufwande analytischer Kunst behandeltes Problem. Dahin gehört zuerst Lambert in seiner Pyrometrie, dann aber wurde die Aufgabe weit ausführlicher und *gründlicher* behandelt durch Biot in Mém. sur la propagation de la chaleur. Par. 1804, vergl. Bibl. Brit. T. XXVII., demnächst von Fourier in Mém. sur la chaleur. Par. 1807 und in seiner Preisschrift von 1812 in Mém. de l'Acad. des Sc. T. IV u. V. und abermals in Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. 4. Gleichzeitig finden ir dasselbe behandelt durch Laplace in Connaissance des Temps 1828 nd in Méc. cél. Liv. XI. übereinstimmend mit Fourier. Durch eine erschiedene Analyse gelangte Poisson zu demselben Resultate in einem eigenen Mémoire in Journal de l'École polytechnique Cah. 19. und usführlicher in Théorie mathématique de la Chaleur. Par. 1835. 4. s würde einen nicht angemessenen zu grofsen Raum erfordern, wollen wir *hier* auf diese ausführlichen Untersuchungen eingehn, auf die ir daher nur verweisen. Noch gehört hierher ein Mém. von Dulong d Petit in Journ. de l'École polytechnique Cah. 18, worauf sich Lamé seiner Untersuchung über die Verbreitung der Wärme in einem ipsoide bezieht. L'Institut 1re Ann. Nr. 7. Cauchy in Exerc. T. III. 121 u. 146 zeigt, dafs man auf einfache Weise zu einem allgemeinen Ausdrucke über die Verbreitung der Wärme im Raume überpt gelangen könne. Ihm ist die Wärme eine Flüssigkeit, deren s Theilchen sich von einem durch die Coordinaten (x, y, z) gennen *Puncte nach* derjenigen Richtung bewegt, nach welcher die tigkeitsabnahme der Wärme die stärkste ist, und die Menge der-

Fig. 56. Prüfung desselben anstellte. Denkt man sich eine metallene Stange AB von so geringer Dicke, dafs die Wärme in allen Puncten ihrer Querschnitte als gleichmäfsig hoch zu betrachten ist, das eine Ende A in eine beständige Wärmequelle eingesenkt, das

---

selben, welche während des Zeitelementes ∂t durch ein Flächenelement geht, welches lothrecht auf diese Richtung ist, mufs dieser Abnahme der Dichtigkeit proportional seyn, bedingt durch die Leitungsfähigkeit dieses Punctes. Es sey dann durch diesen Punct ein Flächenelement s gelegt, auf dieses werde ein Perpendikel gefället, welches die Winkel λ, μ, ν mit den rechtwinkeligen Axen x, y, z bildet, k sey das Leitungsvermögen des Punctes und ϱ die Dichtigkeit der Wärme, so ist die Wärmemenge, welche während des Zeitelementes ∂t durch das Flächenelement s geht, gegeben durch den Ausdruck:

$$- k \left(\mathrm{Cos.}\,\lambda \frac{\partial \varrho}{\partial x} + \mathrm{Cos.}\,\mu \frac{\partial \varrho}{\partial x} + \mathrm{Cos.}\,\nu \frac{\partial \varrho}{\partial z}\right).$$

Gehört s der äufsern Oberfläche eines festen Körpers an, ist die Temperatur desselben $= \varrho$, die äufsere $= \sigma$ und die Wärmemenge, die während des Zeitelementes ∂t durch s geht, $= \varrho - \sigma$, so hat man:

$$- k \left(\mathrm{Cos.}\,\lambda \frac{\partial \varrho}{\partial x} + \mathrm{Cos.}\,\mu \frac{\partial \varrho}{\partial y} + \mathrm{Cos.}\,\nu \frac{\partial \varrho}{\partial z}\right) = K(\varrho - \sigma),$$

worin K den Strahlungscoefficienten der Oberfläche bezeichnet. Dieser Ausdruck ist also auch auf die oben abgehandelte Strahlung anwendbar. Ist die Temperatur des äufseren umgebenden Mediums $= 0$ so hat man:

$$\mathrm{Cos.}\,\lambda \frac{\partial \varrho}{\partial x} + \mathrm{Cos.}\,\mu \frac{\partial \varrho}{\partial y} + \mathrm{Cos.}\,\nu \frac{\partial \varrho}{\partial z} + \frac{K}{k}\varrho = 0.$$

Endlich findet unter denselben Voraussetzungen die bekannte Formel statt:

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 \varrho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varrho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varrho}{\partial z^2}\right).$$

In der Allgemeinheit, wie dieses Problem durch Fourier, Poisson und Andere nach ihnen aufgefafst worden ist, bezieht es sich auf die Aufgabe, den veränderlichen und endlichen Zustand der Temperatur eines gegebenen Punctes im Innern eines homogenen Körpers von gegebener Form zu bestimmen, dessen Oberfläche constanten Wärmequellen ausgesetzt ist oder in eine Umgebung von bekannter Temperatur Wärme ausstrahlt, berechnet für gerade Cylinder mit kreisrunder Grundfläche, für die Kugel und wenig von der Kugelform abweichende Körper, für senkrechte Prismen mit rechteckiger Basis, für dreiseitige regelmäfsige Prismen u. s. w. Besondere Formeln sind dann für Körper und Hüllen von Oberflächen des zweiten Grades begrenzt erforderlich.

andere unendlich verlängert, in der Stange aber Thermometer auf die angegebene Weise eingesenkt und durch einen Schirm gegen den Einfluſs der Wärme in A geschützt, so wird von drei in ihr angenommenen Querschnitten der eine m in jedem Zeitelemente Wärme von dem vorderen 'm empfangen und an den folgenden m' abgeben, somit also ein Thermometer bei m, sofern es weniger warm ist, als ein Thermometer in 'm, und weniger Wärme an m' abgiebt, als es von 'm erhält, zuletzt die Wärme der Quelle selbst annehmen, welches aber erst in einer unendlich langen Zeit geschehn könnte. Allein es tritt hierbei zugleich der Einfluſs der Strahlung als bedingend ein, indem jedes der Thermometer an die Umgebung, so lange diese nicht von gleicher Temperatur ist, Wärme abgiebt. Hiernach muſs also das Steigen des Thermometers m aufhören, sobald die Wärme, welche es von 'm erhält, derjenigen gleich ist, die es an m' abgiebt und die es durch Strahlung verliert, so daſs dasselbe dann stationär wird. Heiſst dann (y) die Temperatur der Umgebung und y + (y) die Temperatur der Barre zur Zeit t in demjenigen Querschnitt, welcher der Abscisse x zugehört, die von jedem Puncte seiner Länge an genommen werden kann, so ist die Differentialgleichung, welche das dem Differential der Zeit zugehörige Differential der Temperaturänderung bezeichnet:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - b y.$$

Hierin bezeichnen a und b Constanten, die für die ganze Länge unveränderlich sind; b bezeichnet die Geschwindigkeit der freien Abkühlung eines jeden Punctes der Oberfläche für sich betrachtet, a dagegen ist der Coefficient, welcher sich auf die Mittheilung der Temperaturen zwischen den Elementen des Körpers bezieht und mit der Schnelligkeit dieser Mittheilung wächst. Ist die Temperatur der Barre stationär geworden, so indem sich die Temperaturen nicht mehr, $\frac{\partial y}{\partial t}$ wird 0 und die Gleichung heiſst

$$a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - b y = 0,$$

deren vollständiges Integral ist:

$$y = A\,10^{-\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}} + B\,10^{\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}}.$$

Hierin bezeichnet M den Modulus der gemeinen Logarithmen = 2,302585, A und B aber Constanten, die durch Versuche bestimmt werden. Denken wir uns den einfachen Fall, daſs das eine Ende der Barre in einer constanten Temperatur = (y) + Y erhalten würde, das andere Ende aber so weit entfernt wäre, um den Einfluſs von y unmerkbar zu machen, so würde für x = 0 auch y = Y werden und man hätte A = Y, welches substituirt

$$y = Y\,10^{-\frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}},$$

also

$$\text{Log.}\,y = \text{Log.}\,Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}$$

giebt, woraus y gefunden werden kann, wenn a und b bekannt sind. In den meisten Fällen ist dieses nicht der Fall, vielmehr müssen sie durch Versuche gefunden werden.

294) Biot stellte mehrere Reihen von Versuchen an, von denen er einige mittheilt, die in mehrfacher Hinsicht interessante Resultate gaben. Barren von verschiedenen Metallen, in welche mehrere Thermometerkugeln in gleich weit abstehende Vertiefungen mit Quecksilber gefüllt eingesenkt waren, wurden am einen Ende mit einer Wärmequelle (durch eine Weingeistlampe erhitztes Oel oder Quecksilber) von gleichbleibender Temperatur verbunden, und waren so lang, daſs die Wärme nicht bis zum andern Ende gelangte; der Versuch wurde dann so lange fortgesetzt, bis die Temperatur sämmtlicher Thermometer eine genügende Zeit stationär blieb. Eine eiserne Barre wurde am einen Ende in Quecksilber von 82° R. Wärme getaucht, die äuſsere Luft war 13° R., also Y = 82 — 13 = 69, und die 8 Thermometer hatten folgende Abstände von der Wärmequelle in Decimetern:

Nr. 1	Abstand	2,115	Nr. 5	Abstand	5,902
— 2	—	3,115	— 6	—	7,777
— 3	—	4,009	— 7	—	9,671
— 4	—	4,970	— 8	—	11,556

Der Abstand des Endes betrug 27,342 Centim. Um durch die Ungewiſsheit der Wärme des Metalls dicht bei der Wärme

quelle keine Irrthümer einzuführen, wurde Y als unbekannt aus dem Stande des ersten und dritten Thermometers gefunden. Hiernach war

für Nr. 1 ... $y' = 23°,5$ ... $x' = 2,115$
für Nr. 3 ... $y'' = 9,0$ ... $x'' = 4,009$

Diese Gröfsen in die Gleichung eingeführt geben folgende Werthe:

$$\text{Log.}\, y' = \text{Log.}\, Y - \frac{x'}{M}\sqrt{\frac{b}{a}};\ \text{Log.}\, y'' = \text{Log.}\, Y = \frac{x''}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}.$$

Eliminirt giebt

$$\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{\text{Log.}\, y' - \text{Log.}\, y''}{x'' - x'};\ \text{Log.}\, Y = \frac{x''\,\text{Log.}\, y' - x'\,\text{Log.}\, y''}{x'' - x'}$$

und in Zahlen

$$\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0,2200767;\quad \text{Log.}\, Y = 1,8355310;\quad Y = 68°,475.$$

Der hier gefundene Werth von $Y = 68°,475$ weicht so wenig von dem unmittelbar durch Messen gefundenen $= 69$ ab [1], dafs die zugleich erhaltenen Constanten a und b als richtig gelten, und also die Temperaturen y, y', y'' ..... für die Abscissen x, x', x'' ..... oder die Temperaturen der Querschnitte des Metalls in gegebenen Entfernungen von der Wärmequelle nach der Formel:

$$\text{Log.}\, y = \text{Log.}\, Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}}$$

sich mit Sicherheit berechnen lassen. Die folgende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Werthe von y.

---

1 Biot bemerkt nur, dafs beide Werthe nicht um voll 0°,5 R. von einander abweichen; es liegt aber sehr nahe bei der Sache, dafs eine völlige Uebereinstimmung eher gegen, als für die Genauigkeit der Versuche entscheiden würde. Die eiserne Barre verlor anhaltend durch Strahlung und selbst ihr eingetauchtes Ende konnte daher die volle Wärme des heifsen Quecksilbers nicht annehmen, auch diejenige nicht, die das eingetauchte kürzere und schlechter leitende Thermometer anzeigte. Darum sind auch die Differenzen der folgenden Tabelle meistens negativ.

Y — y

Reihe der Thermometer	beobachtet	berechnet	Unterschiede
Nr. 0	69°,00	68°,48	−0°,52
— 1	23,50	23,50	0,00
— 2	14,00	14,16	+ 0,16
— 3	9,00	9,00	0,00
— 4	5,75	5,55	— 0,20
— 5	3,75	3,45	— 0,30
— 6	1,75	1,33	— 0,42
— 7	1,00	0,51	— 0,49
— 8	unmerklich	unmerklich	

Das achte Thermometer in 11,556 Decimeter Abstand von der Wärmequelle wurde nicht mehr merklich afficirt. Man könnte also fragen, wie heifs eine Wärmequelle seyn müfste, um ein Thermometer in einer gewissen Entfernung, wir nehmen zwei Meter, um 1° R. noch steigen zu machen. In diesem Falle ist $y = 1$ und Log. $y = 0$, $x = 20$ Decimeter, und die Formel

$$\text{Log. } y = \text{Log. } Y - \frac{x}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} \text{ wird Log. } Y = \frac{20}{M}\sqrt{\frac{b}{a}},$$

woraus für die gefundenen Constanten a und b der Werth von $Y = 25208°$ R. gefunden wird. Hiernach wäre es also unmöglich, eine Hitze zu erzeugen, wodurch eine 2 Meter lange Eisenstange, ungeachtet der grofsen Leitungsfähigkeit der Metalle, um 1° R. an ihrem äufsersten Ende erwärmt werden könnte.

Bei einem Versuche mit einer andern, von der ersten verschiedenen Eisenstange, wobei $Y = 191°,9$ R. war, wurde der Coefficient $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0{,}2197849$ von dem vorigen so wenig abweichend gefunden, dafs man ihn für Eisen füglich allgemein $= 0{,}22$ annehmen kann. Bei Kupfer, worin 14 Thermometer eingesenkt waren und $Y = 246°,524$ betrug, wurde $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{b}{a}} = 0{,}0882726$ gefunden.

295) Später stellte Despretz[1] einige Versuche mit ver-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XIX. Dessen Traité élément. de Phys.

schiedenen Metallen und andern Körpern in der Gestalt von quadratischen Prismen an, die auf gleiche Weise mit eingesenkten Thermometern versehn waren, deren eines Ende aber durch eine untergesetzte Lampe erwärmt wurde. Die Barren waren alle von gleichen Dimensionen, die Seite des quadratischen Querschnittes betrug 21 Millim., die 10 Centimeter von einander abstehenden Vertiefungen hatten 6 Millim. Durchmesser und reichten bis zu einer Tiefe von $\frac{2}{3}$ des Durchmessers der Barren hinab. Vor allen Dingen wurde gesorgt, dafs der Stand der Thermometer sich nicht mehr veränderte, welches 3 Stunden, der ganze Versuch aber 6 Stunden Zeit erforderte[1], und nicht minder dafür, dafs die äufsere Temperatur sich nicht veränderte.

Kupfer. Aeufsere Temperatur 17°,08 C.

1	Thermometer	zeigte	83°,44.	Ueberschufs	66°,36
2	—	—	63,36	—	46,28
3	—	—	49,70	—	32,62
4	—	—	41,40	—	24,32
5	—	—	35,71	—	18,63
6	—	—	33,26	—	16,18

Die Abstände der Thermometer bildeten eine arithmetische Reihe, die Abnahmen der Temperaturen eine geometrische, worin eine Bestätigung des *Newton'schen Gesetzes* liegt. Die Quotienten der auf einander folgenden Gröfsen sind = 1,4; 1,4; 1,4.

Eisen. Aeufsere Temperatur 13°,02 C.

1	Thermometer	zeigte	75°,92.	Ueberschufs	62°,90
2	—	—	49,71	—	36,69
3	—	—	33,54	—	20,52
4	—	—	25,34	—	12,32
5	—	—	21,21	—	8,19
6	—	—	19,63	—	6,61

Paris 1825. 8. p. 195. Später Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 422. Poggendorff's Ann. XII. 281.

1 Es ist bei diesen Versuchen zu bedauern, dafs die Barren nicht hinlänglich lang waren, um den Einflufs der Erwärmung auf die entferntesten Thermometer = 0 zu machen.

Zinn. Aeufsere Temperatur 17°,34 C.

1	Thermometer	zeigte	80°,75.	Ueberschufs	63°,41
2	—	—	52,51	—	35,17
3	—	—	38,86	—	21,52
4	—	—	32,36	—	15,52

Zink. Aeufsere Temperatur 5°,62 C.

1	Thermometer	zeigte	69°,76.	Ueberschufs	64°,17
2	—	—	43,64	—	38,02
3	—	—	31,05	—	25,43
4	—	—	23,55	—	17,93

Blei. Aeufsere Temperatur 17°,12 C.

1	Thermometer	zeigte	82°,25.	Ueberschufs	65°,13
2	—	—	46,54	—	29,42
3	—	—	32,05	—	14,93
4	—	—	27,11	—	9,99

Marmor. Aeufsere Temperatur 17°,15 C.

1	Thermometer	zeigte	81°,06.	Ueberschufs	63°,91
2	—	—	23,23	—	6,08
3	—	—	19,10	—	1,95
4	—	—	18,62	—	1,47

Despretz bemerkt, dafs nur bei gut leitenden Substanzen und solchen von homogener Beschaffenheit ihrer Theile die Abnahmen der Wärme eine geometrische Reihe bilden. Für Blei, als einen schlechten Leiter, sind daher die Quotienten $\frac{65,13}{29,42} = 2,21$; $\frac{29,42}{14,93} = 1,97$; $\frac{14,93}{9,99} = 1,49$; für Marmor $\frac{63,91}{6,08} = 10,51$; $\frac{6,08}{1,95} = 3,12$; $\frac{1,95}{1,47} = 1,32$. Das Newton'sche Gesetz würde also für solche Körper nicht gültig seyn. Es scheint mir jedoch, als seyen zuvor noch wiederholte und sehr genaue Versuche erforderlich, ehe wir diese Behauptung für gegründet annehmen, um so mehr, als sie mit den durch Bischof erhaltenen Resultaten (§. 254) nicht im Einklang steht. Je schlechter ein Körper leitet, desto längere Zeit wird erfordert, ehe die Thermometer stationär werden, und hierin, so wie auch in der nicht genügenden Länge der Barren scheint der Grund der bemerkten Anomalie zu liegen. Auf jeden Fall

ist es nicht wahrscheinlich, dafs dieses Gesetz nicht mindestens für Blei statt finden sollte, da Despretz dasselbe sogar beim Wasser bestätigt fand (§. 291) und die durch De la Rive und Decandolle selbst für Holz nach den Längenfibern erhaltenen Gröfsen nicht sehr davon abweichen (§. 297). Für Barren der nämlichen Substanz, aber von ungleichen Dicken, fand Despretz das Gesetz, dafs die Entfernungen von der Wärmequelle, wo die Thermometer eine gleiche Temperatur erhalten, den Quadratwurzeln der Durchmesser proportional sind, woraus hervorgeht, warum man einen dünnen Draht so wenig entfernt von einer Stelle, wo er glüht, mit den Fingern halten kann. Despretz hat aus seinen Versuchen folgende *relative Leitungsfähigkeiten* gefunden, indem er zur Berechnung die von Fourier entnommene Gleichung anwandte, wonach das Wärmeleitungsvermögen $k = \frac{1}{(\text{Log.}\, x)^2}$ ist, x aber aus der Gleichung $\frac{x^2+1}{x} = q$ bestimmt wird, in welcher q der Quotient aus der Division der Summe zweier Ueberschüsse durch den zwischenliegenden Ueberschufs ist.

Gold	10000	Zinn	3039
Platin	9810	Blei	1796
Silber	9730	Marmor	236
Kupfer	8982	Porcellan	122
Eisen	3713	Ziegel und Ofenmasse	114
Zink	3630		

Die Hölzer fand er so schlecht leitend, dafs er keine Versuche auf die angegebene Weise damit anzustellen vermochte.

296) N. W. Fischer[1] erhebt einige nicht ungegründete Zweifel gegen die hier gefundene Reihenfolge der Metalle, namentlich dafs das Gold obenan steht und noch mehr wegen des Ortes, den das Platin einnimmt, welches über das Kupfer gesetzt wird. Ingenhouss (§. 293) setzt das Gold dem Zinne gleich, und ähnliche Versuche, welche Fischer selbst, nur nicht mit reinem, sondern mit gewöhnlich legirtem Golde anstellte, geben diesem den Rang unter dem Kupfer, dem Platin aber den

1 Poggendorff's Ann. XIX. 507.

Rang unter allen von ihm geprüften Metallen. Die hierbei angewandte Methode bestand theils darin, daſs dünne, einander gleiche Streifen der Metalle gleichzeitig zwischen den Fingern gefaſst und mit dem einen Ende in eine Weingeistflamme gehalten wurden, um die erhaltene Hitze durch das Gefühl mit Rücksicht auf die ungleiche Entfernung der Stelle, wo sie berührt werden konnten, zu schätzen, theils daſs die Streifen mit Wachs überzogen in siedendes Wasser getaucht wurden, um das Leitungsvermögen aus der Höhe, bis zu welcher der Ueberzug in gleichen Zeiten schmolz, zu entnehmen[1]. Nach den durch letzteres Verfahren erhaltenen Resultaten bilden die Metalle folgende Reihe: Silber, Kupfer, Gold, Palladium, Platin.

297) Den Genfer Gelehrten August de la Rive und Alphons Decandolle ist es gelungen, das Gesetz der Wärmeleitung einiger Holzarten nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch mit Rücksicht auf die Richtung ihrer Fasern, ob diese nach der Länge oder nach ihrem Querschnitt leiten, mit groſser Genauigkeit aufzufinden[2]. Sie bedienten sich hierzu parallele-

---

1 Fischer setzt das durch Ingenhouss gewählte Verfahren dem durch Despretz angewandten weit nach, aber, wie mir scheint, mit Unrecht. Allerdings kann das *Gesetz der Wärmefortpflanzung* nur durch letzteres gefunden werden, allein dann müssen die Versuche so angestellt werden, wie durch Biot geschah, denn eine constante Temperatur der Wärmequelle und hinlängliche Länge der Barren, um bis zum Nullpuncte der Fortpflanzung zu messen, sind unerläſsliche Bedingungen, deren erste mit einer Flamme, die mit ungleicher Intensität brennt, durch den Luftzug hin und her bewegt wird und der Bedingung des neben ihr aufsteigenden Luftzuges unterliegt, nicht zu erreichen steht. Auſserdem muſsten, wie bereits bemerkt worden ist, die Versuche weit länger fortgesetzt werden, als durch Despretz geschah, um des stationären Standes der Thermometer mit Gewiſsheit versichert zu seyn. Handelt es sich dagegen bloſs um die Auffindung des relativen Leitungsvermögens, so verdient die ältere Methode offenbar den Vorzug, wie aus den mechanischen Gesetzen der Bewegung unwidersprechlich folgt. Inzwischen müssen die Stangen alle gleich dick und hinlänglich lang, zugleich auch mit einem gleichen geeigneten Ueberzuge bedeckt seyn, um die Strahlung zu beseitigen, und das Eintauchen muſs in heiſses Oel geschehn, um eine neue nachtheilige Bedingung durch den Einfluſs der Dämpfe zu vermeiden.

2 Mémoires de la Soc. de Phys. de Génève. T. IV. p. 70. Bibl.

pipedischer, 13 Centim. langer, 4 Centim. breiter und 27 Millim. dicker Stücke von trocknem Holze. Auf der breiten Seite waren 3 Centim. vom einen Ende anfangend in Abständen von 2 Centim. fünf Löcher, 7 Millim. weit und bis in die Mitte reichend, eingelassen, in deren jedes Quecksilber gegossen, in dieses eine Thermometerkugel gesenkt und die Oberfläche mit Hexenmehl bestreuet wurde, um die Strahlung zu verhindern (?). Das Ende des Holzstabes war in eine Hülse von Weifsblech gesteckt, ungefähr 2,5 Centim. lang, um auch das erste Loch nicht zu bedecken; unter diese Hülse wurde eine Weingeistlampe gestellt, und um den sonstigen Einflufs der Flamme abzuschneiden, dienten Glasstreifen, die nach ihrer Erwärmung durch andere ersetzt wurden. Nach einer oder zwei Stunden hatten die Thermometer ihr Maximum erreicht, der Versuch galt aber nicht früher für beendigt, als bis sie 10 bis 15 Min. stationär gewesen waren. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche.

Hölzer	Thermometer nach Abzug der äufsern Temperatur. Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
Weifsdorn. Längenfibern	83°,00	45°,00	21°,20	9°,20	4°,40
Nufsbaum . – –	80,13	43,00	19,63	9,19	5,13
Eiche . . . . – –	81,70	41,20	17,50	7,20	3,70
Tanne . . . – –	84,00	39,25	20,60	8,50	3,70
Pappel . . . – –	79,80	34,20	14,20	6,20	2,80
Nufsbaum. Querfibern .	99,50	37,42	13,19	6,00	3,25
Eiche . . . – –	79,30	22,75	7,50	3,60	2,40
Tanne . . - -	70,90	13,80	4,50	2,50	1,90
Kork . . . – –	78,50	13,75	3,44	1,56	1,00

Werden diese Grade des Centesimalthermometers und zwar immer die folgenden in die vorhergehenden dividirt, so giebt dieses folgende Quotienten:

---

nir. T. XXXIX. p. 206. Poggendorff's Ann. XIV. 590. Wiener Zeitschrift. Th. V. S. 330.

Hölzer	Quotienten 1ste	2te	3te	4te
Weifsdorn. Längenfibern	1,84	1,20	2,30	2,10
Nufsbaum	1,86	2,19	2,13	1,79
Eiche	1,98	2,35	2,43	1,94
Tanne	2,10	2,30	1,90	2,40
Pappel	2,33	2,40	2,30	2,22
Nufsbaum. Querfibern	2,66	2,84	2,20	1,80
Eiche	3,50	3,00	2,10	1,50
Tanne	5,10	3,00	1,40	1,30
Kork	5,70	3,90	2,20	1,56

Man sieht hieraus, dafs das logarithmische Gesetz auf Hölzer nicht anwendbar ist, zugleich aber, dafs die Hölzer nach den Längenfibern bessere Leiter sind, als nach den Querfibern, weswegen sie auch leichter die Wärme des Bodens, als die der äufsern Umgebung annehmen.

298) Bei dieser Untersuchung des Fortpflanzungsvermögens der Wärme in verschiedenen Körpern müssen wir noch eine eigenthümliche Erscheinung erwähnen, die wohl noch nicht als definitiv entschieden gelten kann. Es wird oft als aus gemeinen Erfahrungen entnommen betrachtet, dafs Metallstangen, überhaupt länglich geformte Metallmassen, als Löffel, Drähte, Barren u. s. w., wenn sie am einen Ende stark, bis zum Glühn, erhitzt oder wirklich glühend gemacht und mit diesem Ende in kaltes Wasser getaucht werden, am andern eine höhere Wärme zeigen, als wenn man sie in der Luft erkalten läfst[1]. Ausdrücklich wurde der Satz ausgesprochen durch N. W. Fischer[2], welcher als Thatsache erwähnt, dafs die Fortpflanzung der Wärme von dem erhitzten Ende aus nach den entfernten Stellen bei weitem schneller erfolgt, wenn dieses Ende,

1 Ich glaube mich zu erinnern, dafs Meissner die Thatsache durch einen Versuch mit zwei Eisenstangen bestätigt gefunden habe, indem er beide einander gleiche auch gleichmäfsig erhitzte, die eine in Wasser tauchte, die andere an der Luft erkalten liefs, und die erste wegen grofser Hitze fallen lassen mufste, die andere aber länger zwischen den Fingern halten konnte.

2 Poggendorff's Ann. XIX. 513.

statt in der Luft, durch eine Flüssigkeit, besonders durch Wasser, abgekühlt wird. Man kann, heifst es, diese überraschende Erscheinung sehr leicht wahrnehmen, wenn ein Platin- oder Silberlöffel so lange erhitzt wird, bis der in der Hand gehaltene Stiel eben warm zu werden anfängt und man Wasser in den Löffel giefst, wobei sich die Wärme so schnell mittheilt, dafs der Löffel nicht mehr gehalten werden kann. Am besten mufs der Löffel nicht so stark erhitzt seyn, dafs der Leidenfrost'sche Versuch eintritt. Mousson[1] erwähnt die Sache als bekannt, betrachtet sie aber nicht als eine Folge der Leitung, sondern glaubt, das schnelle Erkalten bewirke eine Compression und erzeuge hierdurch Wärme. Hiernach müfste die schnell abgekühlte äufsere Hülle die eingeschlossenen Theile zusammenpressen und dadurch Wärme erzeugen, allein da gleichzeitig Wärme abgegeben wird, mithin die vorhandene nur die Differenz der erzeugten und abgegebenen seyn könnte, diese aber bei der immerhin langsamen Fortpflanzung bis zum entfernteren Ende sich mehr der nächsten Umgebung mittheilen müfste, so erscheint diese Erklärung auf jeden Fall als sehr unwahrscheinlich. Auf die einfachen Gesetze der Wärmeleitung läfst sich das Phänomen ebenso wenig zurückbringen, denn durch Abkühlung des unteren Endes, welches unwidersprechlich mit Abgabe von Wärme verbunden ist, müfste letztere sich zum Ersatze nach dieser Stelle hinziehn, es würde also das Gegentheil erfolgen, und fände daher die Thatsache wirklich statt, so müfste sie in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Wärme, deren Verhalten uns in vielen andern Beziehungen noch so wenig bekannt ist, gegründet seyn. Bei der Versammlung der Naturforscher zu Freiburg 1838 hielt H. Schröder über dieses Problem einen Vortrag[2], worin er angab, dafs er auf die Löthstelle eines einfachen Antimon-Wismuth-Elements, welches mit einem empfindlichen Thermogalvanometer verbunden war, Metalle von verschiedener Länge und Form gelöthet habe, deren Enden er mit einer Aeolipile erhitzte, bis die vollkommen astatische Nadel bei einer gewissen Ablenkung stationär geworden war. Ward dann das erhitzte Ende plötzlich abgekühlt, so mufste die Nadel noch mehr abweichen, allein dieses

---

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 410.

2 Ebendaselbst XLVI. 135.

erfolgte nie, vielmehr ging die Nadel stets auf die gewöhnliche Weise in Folge der Abkühlung zurück. Diese Versuche wurden mit Kupfer, Eisen, Zink und Messing von den verschiedensten Gestalten angestellt und führten daher zu dem Resultate, dafs die aufgestellte Behauptung, die ursprünglich auf der Aussage der Metallarbeiter, namentlich der Schmiede, beruht, ungegründet sey. Poggendorff bemerkt in einer Anmerkung, dafs Crahay[1] in das Ende einer eisernen Stange ein Loch bohrte, Quecksilber hineingofs und in dieses eine Thermometerkugel senkte, am Thermometer aber nie ein Steigen bemerkte, wenn das andere Ende der Stange nach dem Erhitzen schnell abgekühlt wurde, weswegen er selbst die Behauptung für genügend widerlegt hält. Auch Böttger[2], welcher noch in Freiburg dieses merkwürdige Verhalten für Silber in Schutz nahm, gelangte nachher durch genaue Versuche mit Platin, Kupfer, Eisen, Neusilber, Palladium und Silber gleichfalls zu einem negativen Resultate. Uebrigens liegt die Ursache der Täuschung nicht fern. Man erwartet, dafs durch das Eintauchen des erhitzten Endes in Wasser das andere Ende gleichfalls erkaltet werden und ein schnell merkbares Sinken der Temperatur bemerkbar werden müsse, glaubt dann aber an eine Vermehrung der Wärme, wenn das andere Ende des Metalls eine Temperaturerhöhung zeigt, die übrigens vermöge des langsamen Fortschreitens der Wärme ohnehin eingetreten seyn würde. Ein einfacher Versuch, wenn man die einen Enden zweier ganz gleicher Kupferdrähte in geringer Entfernung von einander zwischen die Finger nimmt, ihre andern Enden dicht neben einander in einer Weingeistlampe gleichmäfsig erhitzt und dann, wenn man die beginnende Wärme empfindet, das Ende des einen Drahtes ins Wasser taucht, zeigt deutlich, wie leicht diese Täuschung eintrete, denn anfangs glaubt man wirklich an die Erscheinung, bei der Wiederholung hört dieses aber auf.

3) Durchleitung der Wärme durch verschiedene Körper.

Wenn es sich um die Untersuchung der Gesetze handelt, nach denen die Wärme durch den leeren Raum oder durch

1 Quetelet's Correspond. math. et phys. T. VI. p. 324.
2 Poggendorff's Ann. L. 60.

zwischenliegende Körper hindurchgeleitet wird, so sieht man bald, dafs dabei zugleich das Abgeben oder Aufnehmen der Wärme von gegebenen Körpern in Betrachtung kommt, worüber unter *Strahlung* bereits gehandelt worden ist, nicht minder das Verhalten der Körper, durch welche die Wärme strömt, welches unter *Fortpflanzung* näher untersucht wurde; die Erscheinungen der Durchleitung lassen sich daher nur insoweit von den bisher untersuchten trennen, als dabei nicht blofs das Verhalten der Körper, welche Wärme aufnehmen und abgeben, in Betracht kommt, sondern auch die Bedingungen, welche in dieser Beziehung durch den zwischenliegenden Raum oder die zwischenliegenden Körper herbeigeführt werden.

a) Durchleitung der Wärme im Allgemeinen.

299) Die Wärme wird am leichtesten und schnellsten von einem Körper zum andern übergehn, wenn die zwischenliegende Materie sie am begierigsten aufnimmt, durch ihre Masse am *schnellsten* durchläfst und am leichtesten wieder abgiebt. Sofern also das Fortpflanzungsvermögen der zwischenliegenden Körper vorzugsweise bedingend mitwirkt, begreift man leicht, warum die Erscheinungen der Fortpflanzung und Durchleitung bisher von den Physikern nicht getrennt wurden und auch nicht füglich scharf gesondert werden können. Nicht minder kommt aber hierbei der Uebergang der Wärme von der Oberfläche des einen Körpers in die des andern in Betrachtung, worüber bereits oben (1, γ, §. 269) in Beziehung auf einzelne merkwürdige Erscheinungen geredet worden ist. Aufser der vielfach untersuchten Strahlung liegen hierüber nur wenige Versuche vor, inzwischen verdient die meiste und vorzüglichste Berücksichtigung, was FOURIER[1] zur Ermittelung der hierbei sich zeigenden Gesetze gethan hat. Er schlägt hierzu das sogenannte *Contactthermometer* vor, welches mir in seiner ursprünglichen einfachen Gestalt am geeignetsten zu seyn scheint. Hiernach besteht dasselbe aus einem konischen Gefäfse AA von dünnem Eisenblech (besser wohl von Glas) mit einer in dem Falze gg angebundenen, nicht dicken Haut. Das Gefäfs wird mit Quecksilber gefüllt und in dieses vermittelst eines Korkes ll ein Fig. 57.

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 291. Poggendorff's XIII. 327.

feines Thermometer eingesenkt, auf dessen Scale sich noch Zehntel eines Grades unterscheiden lassen. Es gehört dazu ferner eine Unterlage D, welche aus einer willkürlichen Substanz, etwa aus Marmor oder der genaueren Berührung wegen aus einer Lage Quecksilber, bestehn kann, da es nur auf unter sich vergleichbare Resultate ankommt. Auf diese Unterlage wird das dünne Plättchen gelegt, dessen Fähigkeit, die Wärme aufzunehmen, untersucht werden soll, und beide, die Unterlage sowohl, als auch dieses Plättchen, werden auf constanter Temperatur, am besten der des Zimmers, erhalten. Alsdann erwärmt man das Contactthermometer bis etwa 46° oder 47° C., läfst es einige Grade, etwa bis 45°, herabgehn, setzt es auf das Plättchen und zeichnet die Zeiten und zugehörigen Thermometergrade auf, bis es zu einem gewissen Puncte erkaltet ist. Vorzugsweise dient dieses Instrument, um das relative Leitungsvermögen verschiedener Substanzen zu untersuchen, z. B. der Metalle, Steine, Hölzer u. s. w., die dann in dickeren Massen unmittelbar als Unterlage dienen, um das Contactthermometer darauf zu setzen. Zur Vergleichung ist erforderlich, dafs für jeden Versuch die zu prüfenden Körper sowohl, als auch das Contactthermometer gleiche Temperaturen haben und dafs die Temperatur des zu prüfenden Körpers der der umgebenden Luft gleich sey. Für diesen Fall wird das Leitungsvermögen ϱ durch die Formel

$$\varrho = \frac{1}{\Theta}\left[\text{Log.}(\alpha' - m) - \text{Log.}(\alpha - m)\right]$$

gefunden, worin α die anfangs, α' die nach der Zwischenzeit Θ gemessene Temperatur, m aber die Wärme der Unterlage bezeichnen. Es reicht also hin, dafs man α und α' beobachte und die Differenz zwischen den gemeinen Logarithmen von α — m und α' — m durch die Zwischenzeit Θ dividire, um den Werth von ϱ zu finden. Am bequemsten ist es, für die erste Beobachtung der Gröfse α — m einen gleichen Werth, z. B. 40° C., und für Θ eine fixe Dauer, etwa 10 Minuten, anzunehmen und dann α' — m zu beobachten. Die Werthe von α' — m, welche nach der Natur der Substanzen verschieden sind, lehren direct und ohne Rechnung die Reihe der specifischen Leitungsfähigkeiten kennen. Zwar sind die erhaltenen Werthe nur genäherte, wenn man sich die Aufgabe stellt, das eigentliche physische Verhalten der Körper z

ergründen, da bei den Versuchen so manche anderweitige Bedingungen, als das Strahlungsvermögen, die specifische Wärmecapacität u. s. w. einen nicht unbedeutenden Einfluſs ausüben, dennoch aber geben sie für eine groſse Menge von Körpern das Leitungsvermögen mit hinlänglicher Genauigkeit an. Fourier setzt weiter hinzu, daſs er durch Colladon veranlaſst ein abgeändertes Contactthermometer construirt habe, da aber dasselbe, obgleich er ihm den Vorzug einräumt, im Bau und in der Gebrauchsart weit zusammengesetzter ist, so verweise ich deswegen um so mehr auf die angegebene Quelle, als bis jetzt noch kein eigentlicher Gebrauch davon gemacht wurde.

Auſser einigen Versuchen, welche Fourier mit seinem Contactthermometer angestellt hat und deren Resultate er nur beiläufig angiebt, prüfte auch Despretz[1] den Einfluſs der Unterbrechung beim Uebergange der Wärme von einem Körper in en andern. Zwei Stangen von Kupfer und Zinn, quadratisch, on 20,5 Millim. Seite des Querschnitts und 4 Decimeter Länge, urden mit ihren polirten Enden vermittelst einer Holzschraube ı einander geschraubt. In jedem Stabe waren 5 Thermometer, ren erste 79,5 Millim. von der Verbindungsstelle abstanden, Vertiefungen eingesenkt und die Löcher mit Oel vollgegosn. Die Erhitzung geschah mittelst eines Cylinders, dessen ıes Ende in der Flamme einer Argand'schen Lampe sich bed, das andere aber den einen der Stäbe berührte. Da Resultate nur im Allgemeinen angegeben sind, so wird genügen zu bemerken, daſs der Ueberschuſs des Kupfers, ches die Wärme dem Zinn zuführte, über dieses letztere 17 C. betrug, als aber ein Blatt Briefpapier zwischen die ührungsstelle geschoben war, betrug derselbe 5°,5. Diese gens unbedeutenden Versuche beweisen also gleichfalls, daſs Flächen der Wärmeströmung einen Widerstand entgegenten, was zur Bestätigung der Erklärung der Erscheinungen Trevelyan's Wackler dienen kann.

300) Nehmen wir die Sache allgemein, so begegnen wir · auffallenden Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des ts und der Wärme, denn auch das Licht erleidet an der fläche der transparenten Körper einen Widerstand; eine

---

[1] L'Institut VIme Ann. N. 255. Compt. rend. T. VII. p. 833. Poggorff's Ann. XLVI. 484.

weitere Aehnlichkeit beider wird am Ende dieses Abschnittes zur Sprache kommen. Als nächste Folge dieser Eigenthümlichkeit bei der Wärmeleitung ist zu betrachten, dafs Wasser in Gefäfsen mit siedendem Wasser nicht zum Sieden gebracht wird, eine Erscheinung, auf die zuerst RICHMANN[1] aufmerksam machte, welcher zugleich fand, dafs auch bei andern Flüssigkeiten ein Thermometer in einem Gefäfse, welches in ein anderes Gefäfs mit derselben Flüssigkeit eingetaucht ist, nie die Temperatur zeigt, als dasjenige, welches in die äufsere Flüssigkeit eingesenkt ist. PARROT[2] fand bei seinen Untersuchungen über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten diese Erfahrung bestätigt und bauet auf diese und andere ähnliche den Schlufs, dafs die Körper um so weniger gute Wärmeleiter sind, je mehr sie aus heterogenen Theilen bestehn. Dieser Satz ist sehr wahr und läfst sich dahin erweitern, dafs man das Wärmeleitungsvermögen der Körper nicht blofs der Heterogeneität ihrer Bestandtheile, sondern auch der Lockerkeit ihres Gefüges umgekehrt proportional setzen kann. In gewisser Beziehung kommt Beides auf das Nämliche hinaus, denn die lockeren Körper sind in der Regel solche, in deren Zwischenräume sich Luft oder Gasarten befinden und die man also auch als aus heterogenen Bestandtheilen zusammengesetzt betrachten kann. Wir werden in den folgenden Erörterungen diese Thatsache vielfach bestätigt finden.

301) Sollen die Körper nach ihrem zunehmenden Durchleitungsvermögen geordnet werden, so steht der leere Raum als der schlechteste Leiter voran, ja nach GAY-LUSSAC[3] ist im absoluten Vacuum gar keine Wärme vorhanden. Zu dieser Behauptung kam er durch eine Reihe von Versuchen, bei denen er in das obere Ende einer langen Glasröhre ein sehr empfindliches Thermometer einkittete und diese in eine gröfsere mit Quecksilber gefüllte, einsenkte. Befand sich in der engeren Röhre unter der Thermometerkugel ein durch Quecksilber leicht herzustellendes Torricelli'sches Vacuum und wurde dasselbe durch schnelles tieferes Eintauchen in das Quecksilber der wei-

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. IV. p. 246. T. XII. p. 289.

2 G. XVII. 391.

3 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 191. Ann. de Chim. et Phys. T. XIII. p. 304.

teren Röhre verkleinert, bis zum Verschwinden, so zeigte sich nie die mindeste Wärmeentbindung, die dagegen jederzeit zum Vorschein kam, wenn sich Luft, sowohl dünnere als auch dichtere, in dem Raume befand und durch schnelles Herabdrücken der engeren Röhre in das Quecksilber verdichtet wurde. Gegen die Gültigkeit dieser Versuche läfst sich allerdings einwenden, dafs ein gewöhnliches, wenn auch noch so feines, Thermometer die verdichtete Wärme des Raumes zu zeigen nicht empfindlich genug sey, der Versuch liefse sich daher mit einem ungleich empfindlichern thermoelektrischen Apparate wiederholen. Nach theoretischen Betrachtungen könnte man sagen, die Wärme besitze zwar Repulsion ihrer Molecüle, werde aber zugleich durch die Molecüle der Körper angezogen, und könne daher die Wandungen der Röhre nicht verlassen, um im Innern des leeren Raumes selbstständig zu existiren, namentlich wenn die einschliefsenden Wandungen von gleicher Temperatur sind. Bei ungleicher Wärme derselben ist dagegen nicht wohl denkbar, dafs die Strahlung einen so engen Raum zu durchdringen nicht vermögen sollte, und wenn sie den leeren Raum strahlend durchdringt, so mufs sie in diesem Momente wenigstens darin anwesend seyn. Bei den von mir gemachten Erfahrungen[1], dafs die Wärme die Dämpfe des verdunsteten Eises von der einen Wandung eines Ballons, worin die verdünnte Luft $\frac{1}{600}$ der atmosphärischen Dichtigkeit kaum erreichte, zur entgegengesetzten überführte, diente die Wärme sogar als Vehikel, war jedoch an die Molecüle des Dampfes gebunden. Es giebt indefs einen artigen Versuch, um das schlechte Leitungsvermögen und die geringe Wärmecapacität des luftverdünnten Raumes anschaulich zu machen. Werden etwa einen Zoll grofse Kugeln von dünnem Glase im Zustande der Glühhitze zugeblasen und nimmt man diese nach dem Erkalten in die warme Hand, so ist die Wärmeableitung so gering, dafs es scheint, als würde Wärme in den Kugeln entbunden. Von dem geringen Durchleitungsvermögen der Luft geben auch die jetzt gebräuchlichen mit Luft gefüllten Kissen einen auffallenden Beweis.

302) Aufser den oben (§. 242) bereits erörterten Versuchen von Pictet, Leslie, Dalton und vorzüglich von

---

1 S. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1734.

Dulong und Petit über das Erkalten im leeren Raume und in verschiedenen durch umgebende Hüllen eingeschlossenen Gasarten, wobei zwar zunächst die Ausstrahlung der Wärme berücksichtigt, die Wärme aber dabei zugleich durch den Raum geleitet und der äufseren Hülle mitgetheilt wurde, kommen hier noch einige in Betrachtung, die sich zunächst auf den Durchgang der Wärme durch den leeren Raum und die Luft beziehen. Dahin gehören vorzüglich die älteren, schon im J. 1785 angestellten des Grafen Rumford[1]. Dieser schlofs die Kugel eines feinen Thermometers in eine Glaskugel ein, welche entweder mit Luft gefüllt oder durch Verbindung mit einer hinlänglich langen Glasröhre und Anfüllen derselben mit ausgekochtem und heifs eingegossenem Quecksilber luftleer gemacht und dann zugeschmolzen worden war. Diese Apparate erkältete er in Eiswasser, hielt sie dann in siedendes und bemerkte die Zeit des Erwärmens bis 80° R., oder er verfuhr umgekehrt. Folgende Tabelle enthält die Resultate.

Erreichte Wärme nach Reaum.	Zeit für die lufterfüllte Kugel.		Zeit für die luftleere Kugel.	
18°,0	0′	00″	0′	00″
27,0	0	45	1	30
34,4	1	00	—	—
44,9	2	10	4	20
48,2	2	40	5	00
56,2	4	00	—	—
60,9	5	00	—	—

Bei zwei ähnlichen Apparaten betrug die Zeit der Erwärmung von 0° bis 80° R. für die luftleere Kugel im Ganzen 10′ 48″, für die mit Luft erfüllte 7′ 35″ im Mittel aus zwei Versuchen, die Zeit des Erkaltens von 70° bis 10° R. aber, bei Umkehrung des Verfahrens, für die luftleere Kugel 16′ 10″, für die lufterfüllte 9′ 45″. Als die Kugeln bei folgenden Versuchen nicht in Eiswasser, sondern in trockner Luft von 70° R. bis 30° erkalteten, betrug die hierzu erforderliche Zeit für die luftleere Kugel 10′ 12″, für die lufterfüllte 6′ 11″. Um das Leitungsvermögen der Torricelli'schen Leere mit möglichster Ent-

1 Essays Ess. VIII. T. II. p. 389. G. V. 288.

fernung anderer leitenden Medien zu erforschen, hing Rumford ein sehr kleines Thermometer an einem sehr feinen Seidenfaden in einem länglichen Glasbehälter auf, machte letzteren mittelst Quecksilbers luftleer und untersuchte den Durchgang der Wärme durch den leeren Raum, unter Voraussetzung, dafs das Seidenfädchen nicht alle Wärme leiten könne. Auch hierbei zeigte sich das sehr geringe Leitungsvermögen des luftleeren Raumes, verglichen mit dem des lufterfüllten. Vermittelst ähnlicher Apparate, als die zuerst beschriebenen, untersuchte Rumford ferner das relative Leitungsvermögen der feuchten Luft, des Quecksilbers und des Wassers und erhielt folgende Zeiten des Erwärmens von 0° bis 70° R.:

Torricelli'sches Vacuum	10	Min.	53	Sec.
Luft von atmosphärischer Dichtigkeit . . .	7	—	36	—
Luft von 0,25 atmosphärischer Dichtigkeit	7	—	37	—
Luft von 0,0417 atmosphärischer Dichtigkeit	7	—	51	—
Mit Wasserdampf gesättigte Luft	1	—	51	—
Wasser	1	—	57	—
Quecksilber			36	—

Werden hiernach die Leitungsfähigkeiten geordnet, so erhält man folgende Verhältnisse:

Quecksilber	1000
feuchte Luft	330
Wasser	313
gemeine Luft	80,41
verdünnte Luft	80,25
mehr verdünnte Luft	78
Torricelli'sche Leere	55

303) Es schliefsen sich hieran zunächst die oben unter *rahlung* (§. 258) bereits erwähnten Versuche von Rumford d Sennebier, aus denen sich ergiebt, dafs sehr lockere rper noch schlechtere Wärmeleiter als selbst die trockne ft sind. Dieses läfst sich leicht erklären, wenn man beksichtigt, dafs, so wie die Schallwellen, auch die Wärme ihrer Bewegung am meisten verzögert wird, wenn sie in lreichen Wechseln von besseren Leitern, den festen Theiln lockerer Aggregate, zu den schlechteren, den zwischenenden Luftschichten, und von diesen wieder zu den festen

Theilchen übergehn mufs. Erfahrungen, welche dieses bestätigen, giebt es in Menge. Schon Aristoteles[1] bemerkt, dafs man Flüssigkeiten unter Asche länger warm erhalten könne, als frei stehend; auch bedecken die Landleute den Rest der glimmenden Kohlen des Abends mit Asche, um sie am andern Morgen in diesem Zustande wiederzufinden. Hierauf beruht das Umbinden der Bäume und das Bedecken der Pflanzen mit Stroh, um gegen die Winterkälte zu schützen, ferner der Vorzug der Strohdächer, welche im Winter mehr erwärmen und im Sommer kühler erhalten, als Stein- oder Metalldächer, weswegen sie oder dicke Holzbedeckungen bei Eiskellern allein anwendbar sind. Eis und Schnee sind schlechte Wärmeleiter, weswegen man beim Mangel des letzteren die mit Stroh bedeckten Kellerlöcher gegen strenge Kälte schützt, indem man das Stroh mit einer möglichst dicken Eiskruste überzieht, welche leicht zu erhalten ist, wenn man Wasser darüber giefst. Hierin liegt auch die Ursache, warum die Flüsse nur in der Polarzone bis auf den Grund gefrieren, das Eis aber in den höchsten Polargegenden nur langsam an Dicke zunimmt und nie über 10 bis höchstens 12 Fufs erreicht, denn die aus dem unten sich ansetzenden Eise entbundene Wärme durchdringt nur langsam die bereits gebildete Kruste. Der Schnee schützt bekanntlich die Vegetabilien im Winter gegen die Zerstörung durch Kälte, auch gräbt sich das Wild Höhlungen im Schnee und die Jäger schützen ihre Füfse durch tiefen Schnee, worin sie stehn, gegen das Erfrieren, der tiefen Schneehöhlen nicht zu gedenken, worin die Bewohner des höchsten Nordens überwintern. Merkwürdig aber ist, dafs das feste Eis die Wärme schlechter leitet, als der lockere Schnee, denn Ross[2] fand auf seiner bekannten Expedition, dafs 12 Fufs tiefer Schnee die Kälte so stark zurückhält, als 7 F. dickes Eis, und liefs daher Wasser über die Schneewände der aus Segeltuch gemachten Winterwohnung zu Boothia-Felix giefsen, um sie mit einer Eiskruste zu überziehn. Die so gemachten Wände zwischen 7 bis 9 Fufs, das Dach zwischen 4 bis 6 Fufs dick, widerstanden der Kälte, bis das Quecksilber gefror. Der Wind trocknete den Schnee beim Fallen so aus, dafs er wie Staub

1 Problemat. Sect. XXIV.

2 Narrative of a second Voyage in search of a North-West Passage cet. Lond. 1835. 4. App. p. CIX.

umherflog; wo er aber aufgehäuft lag, verwandelte er sich in eine feste Masse, so dafs sich Stücke, wie Quadersteine, daraus hauen und zu einem Walle aufhäufen liefsen.

304) Im hiesigen Cabinette befindet sich ein sogenannter Richmann'scher Apparat, vermittelst dessen sich das ungleiche Durchleitungsvermögen auf eine sehr einfache Weise anschaulich machen läfst. Derselbe besteht aus 8 cylindrischen Gefäfsen, 2,5 Z. hoch, 1,5 Z. weit, mit gleichen 1,25 Lin. dicken Wandungen. Sie bestehn aus Kupfer, Messing, Zinn, Blei, Marmor, Elfenbein, Holz, Sohlenleder, und in ein jedes derselben hängt der Cylinder eines Thermometers herab, deren acht von ganz gleicher Beschaffenheit neben einander an einer Querstange aufgehangen sind. Diese Cylinder, welche in einem länglichen Kasten stehn, werden mit Wasser von gleicher Temperatur zu gleichen Höhen angefüllt, alsdann giefst man in den Kasten heifses Wasser und mifst nach gleichen Zeitintervallen die durch die Thermometer angezeigten Temperaturen. Hierbei zeigt sich allerdings ein bedeutender Unterschied des Durchleitungsvermögens, eigentliche wissenschaftliche Versuche habe ich aber noch nicht damit angestellt.

305) Noch läfst sich hier ein Phänomen anreihen, welches mir seit langer Zeit aus den Erzählungen mancher Köchinnen bekannt war, von den Physikern aber bisher unbeachtet und daher ungeprüft blieb. Wenn man einen irdenen Topf mit flachem Boden und ohne Füfse, worin das Wasser über dem Feuer stark siedet, rasch entfernt und sogleich auf die Hand setzt, so zeigt das Gefühl dessen Boden zwar warm, aber nicht heifs; bald aber scheint die Wärme, namentlich beim Aufhören des Siedens, von oben wieder herabzukommen, und man mufs ihn der Hitze wegen von der Hand entfernen. Lange glaubte ich, es sey dieses blofs bei einem irdenen Gefäfse der Fall, eigene und fremde Versuche haben mich aber überzeugt, dafs auch metallene sich auf gleiche Weise verhalten. Neuerlings ist dieses Phänomen, und zwar in Beziehung auf metallene Gefäfse, durch Jacquemyns[1] zur Sprache gebracht worden; eine zur Prüfung ernannte Commission war geneigt zu glauben, die Sache beruhe auf einer Täuschung, sofern die Berührung der

1 Bulletin de la Soc. de Bruxelles 1835. T. III. p. 113 u. 322.

Hand zu kurze Zeit dauernd sey, um ihr eine genügende Menge Wärme mitzutheilen, und es sey daher bloſs scheinbar, daſs die Wärme der Bodenfläche nach einiger Zeit vermehrt werde, da vielmehr die Empfindlichkeit der Hand durch die längere Dauer wachse. Hiergegen läſst sich, so leicht auch Täuschungen dann möglich sind, wenn statt eigentlicher Messung das bloſse Gefühl entscheidet, wie das oben (§. 298) erwähnte Phänomen zeigt, dennoch mit Grunde einwenden, daſs hiernach auch die Seitenwandungen eines Gefäſses mit siedendem Wasser anfangs von geringerer und dann von vermehrter Temperatur zu seyn scheinen müſsten, was jedoch nie bemerkt wurde. Ist aber die Thatsache wirklich begründet, wie daraus zu folgen scheint, daſs sie von den Mitgliedern der prüfenden Commission nicht in Abrede gestellt wurde, so stehn ihrer Erklärung keineswegs unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Die Theorie, namentlich wie sie in den tiefgelehrten Untersuchungen von Fourier, Poisson, Libri, Cauchy und Andern durchgeführt worden ist, nimmt in Beziehung auf die Durchleitung der Wärme an, daſs der Wärmestoff in einem Zeitelemente ein gewisses Element des Raumes im gegebenen Körper durchlaufe. Denken wir uns, daſs dieses auch im vorliegenden Falle geschehe, so wird dieser Proceſs bedeutend dadurch gesteigert, daſs die aus dem Boden des Gefäſses heraustretende Wärme sogleich vom Wasser aufgenommen und im gebildeten Dampfe schnell fortgeführt wird, die nachfolgende Wärmeschicht muſs daher, wie beim Ablöschen eines Körpers im Wasser, schnell nachrücken, und so fort, bis zur äuſseren Bodenfläche, die ihre Wärme vom Feuer erhält. Wird dann die Quelle der in schneller Bewegung begriffenen Wärme plötzlich entfernt, so hört die Bewegung derselben nicht sofort auf, wie das noch einige Zeit fortdauernde Sieden zeigt, und es muſs daher in den unteren Schichten des Bodens eines mit siedendem Wasser gefüllten Gefäſses ein momentaner Mangel entstehn, bis das heiſse Wasser seine Wärme denselben wieder abgiebt.

β) Besonderes Verhalten der Durchleitung, Diathermanie, Diathermansie, Polarisation.

306) Bei den bisher untersuchten Phänomenen erschien uns die Wärme stets als etwas Bewegtes, dessen Verhalten, obgleich durch die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper bedingt, sich doch im Ganzen auf die allgemeinen Bewegungsgesetze zurückführen liefs. Namentlich war dieses der Fall bei den zuletzt erörterten Erscheinungen der Durchleitung, insofern hierbei zunächst nur die gröfsere oder geringere Leichtigkeit in Betracht kam, womit die Wärme die verschiedenen Körper gleichsam durchströmt. Neuerdings hat man aber mehrere Eigenschaften der Wärme wahrgenommen, insbesondere bei der Vergleichung der sogenannten leuchtenden und dunkeln Wärmestrahlen bei ihrem Durchgange durch verschiedene Körper, die uns wohl berechtigen, so wie beim Lichte, auch bei der Wärme eine Polarisation anzunehmen. Diese kann jedoch, wie bei den Lichtstrahlen, so auch bei den Wärmestrahlen, nicht anders statt finden, als wenn sie in transparente Medien eindringen und von diesen theils zurückgeworfen, theils durchgelassen werden. Nach der herrschenden Meinung wird angenommen, dafs die Wärmestrahlen, welche die intensiven Lichtstrahlen der Sonne begleiten, mit diesen frei durch transparente Körper dringen und letztere selbst gar nicht oder nur unbedeutend erwärmen, weswegen man auch Brennlinsen von Eis zu verfertigen vermag. Dabei blieb aber fraglich, ob die dunkleren Wärmestrahlen, z. B. vom Küchenfeuer und sonstigen glühenden Körpern oder auch von ganz dunklen erhitzten, transparente Körper durchdringen. Dafs dieses bei sehr hellleuchtenden der Fall sey, hatte ich selbst einst Gelegenheit wahrzunehmen, indem die Hitze eines mehrere hundert Fufs entfernten, in vollen Flammen stehenden grofsen Hauses durch die gefrorenen und nicht davon aufthauenden Fensterscheiben im Innern des Zimmers von den Zuschauern sehr merklich wahrgenommen wurde. Inzwischen ist unlängst bekannt, dafs minder helle Wärmestrahlen mit zunehmender Dunkelheit transparente Körper weniger durchdringen, bis zum gänzlichen Verschwinden des Durchganges bei ganz dunkeler und wenig intensiver Wärme. Mariotte[1] behauptete zuerst, dafs die

1 Traité de la nature des couleurs. Par. 1686. T. II. Introd.

Strahlen eines irdischen Feuers gar nicht oder nur sehr wenig vom Glase durchgelassen werden, und SCHEELE[1] bestätigte dieses mit der Erweiterung, dafs die Strahlen des Küchenfeuers, in einem Metallspiegel concentrirt, ein Thermometer im Brennpuncte desselben sehr stark afficiren, diese Wirkung aber sofort verschwindet, wenn eine klare Glasscheibe dazwischen gebracht wird. PICTET[2] stellte zwischen seine Brennspiegel, als sich in dem Brennpuncte des einen eine Phiole mit heifsem Wasser befand, in dem des andern ein sehr empfindliches Luftthermometer, eine sehr dünne Spiegelscheibe, und sah auch dann das Thermometer steigen, doch gelang es ihm nicht, die dunkeln Wärmestrahlen durch eine Glaslinse zu concentriren, woraus der erschwerte Durchgang solcher Strahlen durch Glas sichtbar hervorgeht. Uebrigens mufs hierbei bemerkt werden, dafs das angewandte Luftthermometer ausnehmend fein war, indem ein Grad desselben nur $\frac{1}{24}$ eines Grades R. ausmachte. Die durch die Phiole mit siedendem Wasser erzeugte, die dünne Glasscheibe durchdringende Wärme betrug nur etwa 1° R. und war ohne Zweifel nur diejenige, welche die erhitzte Scheibe wieder abgab. Um die durch RUMFORD aufgestellte Hypothese, dafs die Wärme durch Flüssigkeiten gar nicht durchgeleitet werde (§. 287), zu prüfen, und zugleich LESLIE's Hypothese zu widerlegen, wonach die Wärme durch transparente Körper nicht strahlen, sondern der einen Fläche derselben durch die Luft zugeführt und durch ebendiese von der entgegengesetzten wieder weggeführt werden sollte, liefs PREVOST[3] den Strahl eines Springbrunnens durch zwei Glasscheiben so aufsteigen, dafs er zwischen diesen eine Lamelle von etwa 0,25 Lin. Dicke bildete, welche stets erneuert wurde, stellte an die eine Seite ein Kerzenlicht, an die andere ein feines Luftthermometer, und sah letzteres um einige Bruchtheile eines Grades steigen. Das durch PICTET gewählte Verfahren, die Wärmestrahlen erst durch eine freie, dann durch eine auf einer Fläche mit Tusche überzogene Glasscheibe fallen zu lassen, um die Durchleitung von der Durchstrahlung zu trennen, wurde aber-

1 Dessen Werke. Th. I. S. 124.

2 Versuch über das Feuer. §. 60.

3 Mém. sur la transmission du calorique à travers l'eau et d'autres substances §. 42. Journ. de Phys. Ann. 1811.

mals in Anwendung gebracht durch Delaroche[1], nach dessen Versuchen mit Hohlspiegeln und bei Anwendung von Gefäſsen mit heiſsem Quecksilber oder von stark erhitzten kupfernen Kugeln die Strahlen eines etwa bis zur Siedehitze des Wassers erwärmten Körpers das Glas nicht durchdringen, wohl aber in einem zunehmenden Grade, wenn die Temperatur des strahlenden Körpers bedeutend wächst, fast ungeschwächt aber, wenn sie leuchtend sind, in welchem Falle bekanntlich die das Licht durchlassenden Körper selbst um so weniger erwärmt werden, je transparenter sie sind. Noch auffallender aber ist die von ihm gemachte Bemerkung, daſs die dunkelen Wärmestrahlen, welche bereits durch eine Glasscheibe gedrungen sind, beim Durchgange durch eine zweite nicht gleichen, sondern weit geringeren Verlust erleiden, welches er wohl nicht mit Unrecht eine Art *Polarisation* nennt. Dagegen aber vermindert die Dicke der transparenten Körper die Menge der durchgelassenen dunklen Strahlen sehr, denn eine Scheibe gemeinen Glases von 1,7 Millim. Dicke lieſs deren weit mehr durch, als eine 9 Millim. dicke von sehr klarem Glase. Schon früher hat Leslie[2] den Einfluſs transparenter Schirme auf die durchgehenden dunklen Wärmestrahlen untersucht, später verfolgte er diese Aufgabe noch weiter[3] und gelangte mit Brewster zu ähnlichen Resultaten, als die von Delaroche gefundenen. Die genannten Gelehrten sind, wie auch insbesondere Biot, geneigt, einen Uebergang der Wärme zum Lichte anzunehmen, welcher indeſs nach diesen Erscheinungen ein allmäliger seyn müſste, so daſs das langsamer sich bewegende, nicht mehr leuchtende Licht die Eigenschaft, transparente Körper zu durchdringen, noch in einem gewissen Grade nach dem bereits begonnenen Uebergange zur Wärme beibehielte.

307) Diese Hypothese eines allmäligen Ueberganges des Lichts in Wärme durch verminderte Geschwindigkeit der Bewegung hat in sich nichts Empfehlendes, denn die Geschwindigkeit des intensiven Lichts der Sonne und der Fixsterne hat

---

1 Journ. de Physique. Ann. 1812. T. LXXVII. p. 201. Vergl. T. XLVI. 378. Biot Traité T. IV. p. 638. Annals of Phil. T. II. p. 163.

2 Inquiry into the Nature of Heat. p. 162.

3 Philosoph. Trans. 1816. P. I. prop. 40.

mit dem von den Jupiterstrabanten bloſs reflectirten schwachen gleiche Geschwindigkeit und beide durchdringen die transparenten Körper auf gleiche Weise, das oft vorgebrachte Argument nicht zu erwähnen, daſs nach dem Aufhören der das Leuchten erzeugenden Undulationen des Lichtäthers letzterer ruhend und unbewegt zurückbleibt und also, wenn diese Ruhe bei Nacht wirklich eintritt, von selbst in Wärme übergehn müſste. Ohne dieses gewichtige Argument ausdrücklich zu erwähnen, ist Powell[1] geneigt, zwei verschiedene Wärmeprincipe anzunehmen, deren eins mit dem Lichte verbunden seyn und dieses begleiten, das andere sich einfach als dunkle Wärme verhalten soll. Um hierüber ins Klare zu kommen, genügt es nach seiner Ansicht nicht, bloſs den Durchgang der Wärme durch Schirme zu untersuchen, sondern man muſs dabei zugleich die Wirkung der Flächen berücksichtigen, sofern sie die strahlende Wärme leichter aufnehmen und ausstrahlen. Hiernach glaubte er auf dem Wege der Erfahrung zur Entscheidung zu gelangen, ob die durch transparente Schirme durchgelassene Wärme identisch mit derjenigen sey, die durch die Beschaffenheit der Oberflächen afficirt wird. Zu diesem Zwecke wählte er das Mittel, den verschiedenen heiſsen und leuchtenden Körpern zwei Thermometer auszusetzen, das eine mit einer glatten schwarzen Kugel, das andere mit einer absorbirenden weiſsen, das Verhältniſs ihres Afficirtwerdens zu messen und mit demjenigen zu vergleichen, welches sich nach dem Zwischenbringen eines transparenten Schirmes herausstellt. Von seinen beiden Thermometern war das eine mit Kalk geweiſst, das andere mit Tusch geschwärzt; sie wurden entweder frei aufgehangen oder in einem Kasten, welcher durch transparente Schirme von Glas verschlossen war. Um die Strahlung des Schirmes auszuschlieſsen, sofern dieser durch die angewandten heiſsen Körper erwärmt werden und somit die Thermometer gleichfalls steigen machen muſste, erwärmte Powell diesen bis über die Temperatur, die er in jedem Versuche annahm, maſs seinen Effect für sich allein auf die Thermometer und zog diese Gröſse von den gefundenen Werthen ab; die

---

1 Philos. Trans. 1825. p. 187. Auch in New Annals of Philos. T. VIII. p. 181. T. IX. p. 359 u. 401. Vergl. Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. VI. p. 297.

Scale der Thermometer endlich war in Viertel der Centesimalgrade getheilt. Aus den zahlreichen hiermit angestellten Versuchen, welche einzeln mitzutheilen mir überflüssig scheint, wird gefolgert, dafs ein Theil der Wärme eines leuchtenden Körpers, welcher in directer Strahlung das Glas durchdringt, die getroffenen Körper im Verhältnifs der Dunkelheit ihrer Farbe, ohne Einflufs der Glätte oder Rauheit ihrer Oberfläche, erwärmt, dafs dagegen der andere Theil, welcher durch den Glasschirm aufgefangen wird, blofs im Verhältnifs der absorbirenden Beschaffenheit der Oberfläche wirkt, ohne Mitwirkung der Farbe. Zur letzteren Classe gehört die dunkle Wärme, welche diesemnach durch Glasschirme gänzlich aufgefangen wird. Weitere Versuche mit Photometern gaben eine Bestätigung dieser Hypothese von zwei verschiedenen Wärmearten, wofür auch der Umstand entscheidet, dafs zwar im Ganzen die erregte Wärme der Intensität des Lichtes proportional ist, glühende Metalle aber verhältnifsmäfsig nur wenig Licht, dagegen aber viel Wärme ausstrahlen. Schwerlich dürfte indefs die Wärmelehre durch die Annahme zweier, unter sich verschiedener Potenzen bedeutende Aufklärung erhalten.

308) Sehr bedeutend wegen ihrer Genauigkeit, und weil sie direct zur Beantwortung der gestellten Frage dienen, sind die Versuche, welche Ritchie[1] mit Anwendung des von ihm selbst angegebenen[2] Photometers anstellte. Um mit Sicherheit auszumitteln, ob das Glas an sich und ohne Einflufs seiner Dicke die Wärmestrahlen zurückhalte, liefs er Kugeln von solcher Dünne der Wandungen blasen, dafs sie beinahe irisirten, fafste einen Theil dieser Hülle wie einen Schirm in einen Rahmen, setzte ihn zwischen eine erhitzte eiserne Kugel und die Kugel des Photometers und erhielt ihn durch einen Luftzug fortwährend auf der Temperatur seiner Umgebung, so dafs er keine von ihm aufgenommene, vielmehr nur die durchstrahlende Wärme der Photometerkugel mittheilen konnte. Es ergab sich dann, dafs keine Wärme durch den Glasschirm strahlte, so lange die eiserne Kugel von geringerer Hitze, namentlich der Siedehitze und etwas darüber war; wurde sie aber stark

1 Philos. Trans. 1827. P. II. p. 139.
2 Ebendaselbst. P. I. p. 129. Vergl. oben §. 232.

erhitzt, ohne jedoch sichtbar zu glühen, so drang allerdings etwas Wärme durch den Glasschirm. Demnächst wandte er ein Photometer mit sehr dünnen Glaskugeln an, deren eine durchsichtig gelassen, die andere aber an der einen Hälfte geschwärzt war. Es zeigte sich, dafs die dunkleren Wärmestrahlen nicht durch das Glas drangen, war aber die eiserne Kugel stärker, jedoch nicht bis zum sichtbaren Glühen erhitzt, so sank die Flüssigkeit in der einen Röhre des Photometers, weil die durch die ungeschwärzte Hälfte der zugehörigen Kugel dringenden Wärmestrahlen von der andern hintern aufgefangen wurden. Endlich wandte er auch sinnreich flüssige Schirme an, indem er in einen vierkantigen Rahmen sich durchkreuzende feine Fäden ausspannte und zwischen ihnen dünne Scheiben von Eiweifs bildete, womit er sie mittelst eines feinen Pinsels überzog; sie gaben die nämlichen Resultate, als die Glasschirme, woraus zugleich hervorgeht, dafs auch die strahlende Wärme durch Flüssigkeiten dringt.

309) Minder sich beziehend auf die Durchlassung der Wärmestrahlen durch Glas, als vielmehr auf eigentliche Polarisation derselben sind die Untersuchungen von Berard[1], welcher hauptsächlich bezweckte, die durch Herschel in Anregung gebrachte ungleiche erwärmende Kraft der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen genauer zu prüfen und zu untersuchen, ob auch die mit den Sonnenstrahlen vereinten Wärmestrahlen der durch Malus neuentdeckten Polarisation unterworfen seyen. Zuerst liefs er die Sonnenstrahlen durch ein Prisma von isländischem Doppelspath in zwei Theile getrennt werden, und gewahrte, dafs in jedem der beiden Farbenbilder die Wärme gleichmäfsig vom Violett zum Roth zunahm, woraus er also folgert, dafs auch Wärmestrahlen polarisirt werden, da das eine der beiden Farbenbündel ein polarisirtes ist. Um zu ermitteln, ob auch die dunklen Wärmestrahlen polarisirt werden, verband er mit dem zweiten Spiegel der nach Malus's Angabe eingerichteten Polarisationsmaschine einen metallenen Hohlspiegel, in dessen Focus die Kugel eines feinen Thermometers angebracht war, so dafs beim Drehen des zweiten Spiegels um den durch

---

1 Annales de Chim. et Phys. 1813. Mars. G. XLVI. 376. Annals of Philos. T. II. p. 164. Hauptsächlich bekannt aus Biot Traité de Phys. T. IV. p. 602.

den ersten polarisirten Lichtstrahl ebenso die reflectirte Wärme, wie das reflectirte Licht auf die Thermometerkugel fallen mufste. Indem er dann den zweiten Spiegel durch alle Azimuthe herumdrehte, ergab sich, dafs das Thermometer allezeit stieg, wenn Licht reflectirt wurde, dagegen unbeweglich blieb, wenn dieses nicht der Fall war, wonach also die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen unzertrennlich seyn müfsten. Mit dunkler Wärme lassen sich diese Versuche nicht anstellen, weil das Glas, wie sehr auch seine Oberfläche polirt seyn mag, die dunkle Wärme nach seinen Erfahrungen nicht reflectirt.

310) Diese anfänglichen unvollkommenen Versuche sind in neuester Zeit um vieles übertroffen worden durch die gehaltreichen Bemühungen, welche Melloni und in specieller Beziehung auf die Polarisation insbesondere Forbes diesem Probleme gewidmet haben, wodurch die ganze Sache eine andere Gestalt erhalten hat. Unter die frühesten Versuche Melloni's, welche er in Verbindung mit Nobili anstellte[1], gehören diejenigen, wodurch er aufzufinden suchte, ob die Wärmestrahlen auf gleiche Weise, als die Lichtstrahlen, durchsichtige Körper durchdringen. Im Allgemeinen zeigte sich dieses bestätigt, sofern Gyps, Glimmer, Oel, Alkohol, Salpetersäure und andere klare Körper eine gröfsere oder geringere Menge von Wärmestrahlen, die aus einer in siedendem Wasser oder sonst erhitzten eisernen Kugel strömten, durchfallen liefsen; das Wasser allein war derjenige Körper, welcher selbst in den dünnsten Schichten als Schirm vor die Oeffnung der thermoelektrischen Säule gebracht gar keine Wärmestrahlen durchliefs, indem die Magnetnadel ganz unbeweglich blieb. Die Ursache hiervon konnte nicht im Flüssigkeitszustande liegen, da andere Körper in diesem Aggregatzustande die genannte Eigenschaft nicht zeigten; auch ging dieses evident daraus hervor, dafs Eis in dünnsten Plättchen angewandt gleichfalls keine Wärmestrahlen der Kugel, selbst wenn sie bis zum Rothglühen erhitzt über dem Thermomultiplicator hingeführt wurde, durchliefs[2]. Der wesent-

1 Aus Antologia di Firenze N. 136 in Poggendorff's Ann. XXVII. Vergl. Bibl. univ. 1832. p. 337.

2 Die später folgenden Versuche beweisen, dafs Wasser und Eis für Wärmestrahlen, welche mit Lichtstrahlen verbunden sind, aber für sogenannte dunkle permeabel seyen. Fraglich bleibt

lichste Satz, welchen Melloni[1] daher aufstellt, heifst: die Durchsichtigkeit ist nicht die einzige Eigenschaft, welche das Durchlassen der Wärmestrahlen bedingt, sondern die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper bewirkt, dafs einige leichter, andere schwerer von den Wärmestrahlen durchdrungen werden, und wenngleich dieser Unterschied mit der Zunahme der Intensität der Wärmequelle abnimmt, so verschwindet er dadurch doch nicht gänzlich. Zu den Messungen bediente er sich eines empfindlichen Thermomultiplicators, und damit war es ihm allerdings möglich, die geringsten Unterschiede der Temperaturen noch wahrzunehmen. Auf diese Weise fand er die bereits (§. 71) erwähnte Abnahme der Temperatur im Spectrum, vom Maximum an nach beiden Seiten hin, wodurch dann die *isothermischen Zonen* entstehn, deren Lage jedoch mit der Verschiedenheit der Prismen wechselt. Was hiervon die Ursache sey, geht sehr evident aus einem interessanten Versuche hervor. Er liefs die Farbenstrahlen eines durch ein Kronglasprisma gebildeten Spectrums durch eine etwa eine Linie dicke, zwischen zwei sehr dünnen und klaren Glasscheiben eingeschlossene Wasserschicht fallen, untersuchte die Wärme der einzelnen farbigen Strahlen und der dunklen isothermischen Zonen vor dem Durchgange und nach dem Durchgange durch diese Wasserschicht, und fand, dafs sie in Folge dieses Durchganges ungleiche Verluste erlitten. Um die Gröfse dieser Verluste leichter zu überblicken, dient die folgende Tabelle, worin die durch die Multiplicatornadel gezeigten und

dabei aber immer, ob es nicht eine so geringe verschwindende Dicke beider Substanzen giebt, bei welcher einige, wenn auch nur wenige dunkle Wärmestrahlen durchfallen. Dieses wird aus den Versuchen Ritchie's und auch aus den allgemeinen, durch Melloni erhaltenen Resultaten mindestens sehr wahrscheinlich.

1 Annales de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 385. Poggendorff's Ann. XXIV. 640. Die Resultate dieser und der nächstfolgenden Abhandlung Melloni's sind vollständig mitgetheilt und einer mathematischen Bearbeitung unterworfen in dem von Biot verfafsten Bericht der vom Institute ernannten Mitglieder der Commission zur nähere Prüfung der Sache, bestehend aus Biot, Arago und Poisson. Alle drei sahen die Versuche und Biot insbesondere war anhaltend Theilnehmer derselben. Der Bericht findet sich in Mém. de l'Institut T. XIV., übers. in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 1. XXXIX. 250. 43. 544.

dann corrigirten Wärmegrade angegeben sind, wobei es indefs überflüssig schien, diese wieder auf die Grade einer bestimmten Thermometerscale zu reduciren.

Zone des Wärmespectrums	Temperaturen vor dem Durchgange durch Wasser	Temperaturen nach dem Durchgange durch Wasser	Unterschiede	Verlust in Hundertsteln der ursprünglichen Temperatur
Violett	2	2,0	0,0	0,00
Indigo	5	4,5	0,5	0,10
Blau	9	8,0	1,0	0,11
Grün	12	10,0	2,0	0,17
Gelb	35	25,0	10,0	0,28
Orange	47	27,0	20,0	0,42
Roth	58	25,0	33,0	0,57
erste dunkle Zone	47	14,0	33,0	0,70
zweite — —	35	9,0	26,0	0,74
dritte — —	12	3,0	9,0	0,75
vierte — —	9	1,0	8,0	0,88
fünfte — —	5	0,5	4,5	0,90
sechste — —	3	0,0	2,0	1,00

311) Melloni[1] hat das ungleiche Durchlassungsvermögen er verschiedenen Körper für Wärme noch weiter untersucht, ndem er die Strahlen einer Argand'schen Lampe der Reihe nach urch 2 Millim. dicke Schichten derselben fallen liefs, wobei ch noch auffallender zeigte, dafs die am meisten diaphanen örper nicht zugleich die meiste Wärme durchlassen[2], wes-

1 Aus Berzelius Jahresbericht N. XIII. in Poggendorff's Ann. XVIII. 371.

2 Berzelius berichtet bei dieser Gelegenheit, dafs Gottlieb Gahn en in dieser Beziehung interessanten Versuch seinen Freunden oft zeigen pflegte. Er concentrirte die Strahlen eines hellen Kohfeuers durch eine klare Glaslinse und liefs den Brennpunct auf Hand fallen, wobei viel Licht, aber wenig Wärme wahrnehmbar ; wenn er aber statt des klaren Brennglases ein anderes durch nstein fast zur Undurchsichtigkeit violett gefärbtes anwandte, war Brennpunct wenig glänzend, die Hand aber mufste wegen der ken Hitze augenblicklich weggezogen werden. Mit Melloni's soch zu erwähnenden Versuchen stimmt dieses nicht überein, doch

wegen er die Körper in letzterer Beziehung *diathermane* nennt. Die von ihm untersuchten Körper nebst der Angabe der Wärmemengen, welche durch sie hindurch fielen, zeigt folgende Tabelle.

Steinsalz, klar . . .	92	Nufsöl, gelb	31
Flintglas, klar . . .	67	Olivenöl, grüngelb	30
Schwefelkohlenstoff, klar	63	Rüböl, gelb	30
Chlorschwefel, rothbraun	63	Aquamarin, bläulich	29
Kalkspath, klar . .	62	Borax, halbklar . .	28
Bergkrystall, klar .	62	bras. Turmalin, grün	27
Rauchtopas, braun .	57	Copaivabalsam, dunkelgelb	26
Topas, bras. klar .	54	Adular, klar, aderig	24
kohlens. Blei, klar .	52	Schwefeläther . . .	21
Kronglas	49	Gyps, klar	20
Achat, weifs, durchscheinend	35	Schwefelsäure . . .	17
Schwerspath, halbklar	33	Salpetersäure	15
Terpentinöl, farblos	31	Alkohol	15
		Citronensäure . . .	15
		Alaunkrystall . . .	12
		Wasser	11

Bei einigen dieser Körper steht ihre *Diathermanie*[1] (von διά durch und θερμαίνω ich erhitze) in gleichem Verhältnifs zu ihrem Refractionsvermögen, allein dieses ist keineswegs bei allen der Fall, auch ist es bei den krystallisirten gleichgültig, in welchem Verhältnifs zu ihrer Krystallisationsaxe sie geschnitten sind. Auffallend zeigt sich aber, dafs die Durchsichtigkeit auf die Diathermanie keinen durchaus bedingenden Einflufs habe, denn Melloni liefs aus einem Rauchtopas eine 48 Millim. dicke Scheibe verfertigen, die so undurchsichtig war, dafs man bei vollem Tagslichte kaum eine darunter liegende

erklärt es sich genügend aus denen, die wir später namhaft machen werden.

1 Statt Diathermanie sagt man auch *Diathermanität*, allein jener Ausdruck scheint mir den gebräuchlichen Regeln der Wortbildung angemessener zu seyn, und er hat aufserdem den Vorzug der Kürze und gröfseren Uebereinstimmung mit dem verwandten: *Diathermansie*, weswegen ich beide ausschliefslich gebrauche.

grobe Druckschrift erkennen konnte, und dennoch liefs sie von 100 Wärmestrahlen 54 hindurch, statt dafs durch eine vollkommen klare, nur 1,5 Millim. dicke Platte eines Alaunkrystalls 17 durchfielen. Ueber den Einflufs der Dicke erhielt er gleichfalls merkwürdige Resultate. Bei einer Rauchtopasplatte ging die Menge der von 100 Wärmestrahlen durchgelassenen durch 24mal vermehrte Dicke nur von 57 bis 54 herab, eine Kalkspathplatte verlor durch 46mal vermehrte Dicke nur ein Viertel ihrer diathermanen Eigenschaft, und bei Steinsalz wurde kein Unterschied zwischen Scheiben von 2 bis 30 oder 40 Millim. Dicke wahrgenommen. Aus klarem Spiegelglase wurden vier Scheiben von 2, 4, 6, 8 Millim. Dicke, möglichst parallelen Flächen und bester Politur geschliffen. Als auf diese eine bei allen gleiche Wärmemenge fiel, die wir durch 1000 ausdrücken wollen, betrug die Menge der durchgehenden der Reihe nach 619, 576, 558 und 549. Denkt man sich nun die dickste Scheibe aus vier einzelnen von der Dicke der ersten bestehend, so beträgt der Verlust der Wärme beim Durchgange durch die erste 0,381 der Gesammtmenge, bei der zweiten 43 von 619, also nur 0,071, und ebenso bei der dritten 0,031 und bei der vierten 0,016. Bei drei dicken Glasstücken von 2, 4, 6 Zoll Dicke waren die Mengen der durchdringenden Strahlen 484, 383 und 303 von 1000, also die Verluste 516 auf 1000 = 0,516, 101 auf 484 oder 0,215, 80 auf 383 oder 0,209 des Ganzen. Ein gleiches Gesetz der Abnahme zeigte sich bei Rübölschichten von verschiedener Dicke, und dieses Verhalten ist verschieden von dem, was beim Lichte statt findet.

312) In einer weiteren ausführlichen Abhandlung hat Melloni[1] die wichtigen Resultate seiner Untersuchungen mitgetheilt, bei denen er sich des von ihm und Nobili erfundenen Thermomultiplicators bediente[2], dessen hoher Grad von Empfindlichkeit ihn zu Versuchen dieser Art vorzüglich geeignet macht, wovon wir jedoch hier nur eine Zeichnung mittheilen, da die Hauptsache, die thermoelektrische Säule, be- Fig. 58.

---

1 Vorläufige Nachricht in L'Institut 1833. N. 8 u. 12. Bibl. Univ. 1833. Oct. p. 191. Poggendorff's Ann. XXVIII. 637. Die Abhandlung selbst in Ann. de Chim. et Phys. T. LIII. p. 1. Poggendorff's Ann. XXXV. 112. 277. 385. 529. 559.

2 S. Art. Thermometer. Bd. IX. S. 1001.

reits beschrieben worden ist, die übrigen Theile aber keiner näheren Beschreibung bedürfen. Als ein besonderer sehr grofser Vorzug dieses Instrumentes vor andern Thermometern wird jedoch mit Recht durch Melloni und Forbes hervorgehoben, dafs es in so unglaublich kurzer Zeit auf sein Maximum kommt. Vor allen Dingen war erforderlich, die vermöge der Strahlung durch die Körper dringende Wärme von der durchgeleiteten zu trennen. Die hierfür von Pictet, Prevost, Ritchie und Delaroche angewandten Methoden sind bereits erwähnt worden; sie waren für Melloni's Vesuche nicht geeignet, und er wählte daher eine andere, indem er die zu untersuchenden Körper in diejenige Entfernung vom Thermomultiplicator brachte, in welcher die ohnehin schwache und langsame Durchleitung ein Minimum wird, d. h. er stellte den diathermanen Schirm in die Mitte zwischen die Wärmequelle und den Thermomultiplicator[1]. Es ergab sich übrigens aus den Versuchen selbst evident, dafs die das Thermoskop afficirende Wärme blofs die vermöge der Strahlung durch die Schirme dringende war, denn die Nadel bedurfte bei jeder Art von Schirmen die nämliche Zeit, um stationär zu werden, nämlich 1,5 Minuten; ferner bewegte sich die Nadel gar nicht, wenn die Strahlen durch eine geschwärzte Glasscheibe oder Kupferscheibe aufgefangen wurden, und auch dann nicht, wenn die ungeschwärzten Glasscheiben eine hinlänglich lange Zeit in gleichem Abstande der abgesondert stehenden Wärmequelle ausgesetzt und dann vor den Thermomultiplicator an die gewöhnliche Stelle gesetzt wurden, wie nothwendig hätte geschehn müssen, wenn die von ihnen ausströmende Wärme auf das Thermoskop zu wir-

1 Ist a der Abstand der Wärmequelle vom Thermomultiplicator, x der Abstand des Schirms vom Thermomultiplicator und i die Intensität der Wärmequelle, so hat man unter der bekannten Voraussetzung, dafs die Intensität der Strahlung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, für die Strahlen auf der Vorderfläche des Schirms $\frac{i}{(a-x)^2}$ und für die Hinterfläche $\frac{ci}{(a-x)^2}$, wenn c die Leitungsfähigkeit des Schirmes bezeichnet. Es ist dann ferner nach eben diesen Principien die Strahlung von der Hinterfläche des Schirms gegen das Thermoskop: $\frac{ci}{x^2(a-x)^2}$, und um hierfür das Minimum y zu finden, mufs man das Differential der Gleichung nehmen. Man erhält dann

ken vermöchte[1]. Hiermit noch nicht zufrieden, da es hauptsächlich auf den Beweis ankam, dafs auch die Strahlen der dunklen Wärme die Körper durchdringen, was bis dahin geleugnet worden war, stellte MELLONI[2] die thermoelektrische Säule so, dafs ihre Oeffnung einem direct auf sie einfallenden, durch eine Platte durchgefallenen Strahlencylinder ausgesetzt war. Rückte er dieselbe seitwärts, so nahm die Wirkung ab und verschwand gänzlich, sobald sie aus diesem Strahlencylinder gekommen war, selbst wenn er sie seitwärts der Platte näherte und letztere durch Umdrehung um ihre verticale Axe in eine Lage brachte, vermöge welcher sie der Oeffnung der Säule zugekehrt durch ihre eigene Wärme auf diese einwirken mufste. Eine Hauptsache war aber, das Verhältnifs der die Nadel ablenkenden Kräfte zu den durchlaufenen Bogen zu finden, welches bei jedem Apparate verschieden ist. Es ergab sich, dafs für den von MELLONI gebrauchten bis zu 20 Graden die Kräfte den Bogen direct proportional sind, was eine Folge seiner eigenthümlichen Windungen ist; für die übrigen erhielt er folgende Werthe:

Grade	Kräfte	Grade	Kräfte	Grade	Kräfte
20°	20,0	29°	33,4	38°	55,4
21	21,1	30	35,3	39	58,5
22	22,3	31	37,4	40	61,9
23	23,7	32	39,6	41	65,5
24	25,1	33	41,8	42	69,3
25	26,6	34	44,1	43	73,2
26	28,2	35	46,7	44	78,0
27	29,9	36	49,5	45	83,2
28	31,6	37	52,4		

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{2ci(2x-a)}{x^3(a-x)^3},$$

lches $= 0$ gesetzt die Gröfse $2x - a = 0$ giebt. Hieraus folgt $= \frac{1}{2}a$, der Schirm mufs sich also in der Mitte zwischen der rmequelle und dem Thermomultiplicator befinden.

1 Wenn man die Langsamkeit des Fortganges der nicht strahden Wärme durch die Luft berücksichtigt, wie sie oben nachgesenworden ist, so kann man nicht wohl auf die Idee kommen, dafs der auf den Schirm fallenden und ihn durchdringenden Wärme ein il von seiner Hinterfläche durch die Luft zum Thermomultiplicator itet seyn sollte.

2 Poggendorff's Ann. XXXVII. 206.

Beiläufig möge, wegen der Wichtigkeit der Versuche, noch bemerkt werden, dafs die beiden Enden der thermoelektrischen Säule jede eine quadratische Fläche von 4,24 Centim. bildete; sie bestand aus 27,5 Paaren von Wismuth- und Antimonstäben, 32 Millim. lang, 2,5 breit und 1 Millim. dick. Um den Einflufs der eigenen Wärme der zu untersuchenden Schirme auf die kürzeste Weise zu entfernen, wurden zwei gleiche gewählt und auf gleichen Gestellen in gleiche Entfernung vor beide Enden der thermoelektrischen Säule gestellt, wodurch die Nadel sich auf 0 einstellte. Als Wärmequelle ist eine Argand'sche Lampe mit gereinigtem Oele am besten anwendbar, deren Wärme zwei Stunden lang unverändert bleibt. Um die Intensität dieser Wärmequelle stets gleich zu erhalten, wurde die Lampe ohne irgend einen Schirm in solche Entfernung gestellt, dafs die Nadel bis 30 Grad abwich; zur Ausscheidung sonstiger Strahlen diente ein grofser, in der Mitte durchbohrter, vor die Oeffnung der thermoelektrischen Säule gestellter Metallschirm, aufserdem aber war vor beiden Oeffnungen noch ein kupferner Schirm angebracht; es bedurfte demnächst nur, dafs eine Lampe von der andern Seite der Säule die Nadel wieder auf 0 zurückführte, und dann beide Schirme angebracht wurden, um den Nullpunct der Säule herzustellen und in kurzen Zeitfristen zu neuen Versuchen überzugehn, indem sonst das Gleichgewicht zwischen beiden Enden nur nach längerer Zeit wieder hergestellt wird.

313) Die erste Untersuchung bezog sich auf den *Einflufs der Oberfläche*, und es ergab sich, dafs auf gleiche Weise, als das Licht, auch die Wärme am leichtesten durch glatte Oberflächen dringt. Es ging dieses aus Versuchen mit 8 aus einer und derselben Scheibe geschnittenen, gleich dicken Schirmen von Spiegelglas hervor, deren Oberflächen einen Uebergang von der gröfsten Rauheit bis zur feinsten Politur bildeten. Die Ablenkungen der Nadel, deren Gröfse ohne die Schirme 30°, also corrigirt 35°,3 betrug, war der Reihe nach 5°,38; 6°,5; 8°,66; 12°,58; 14°,79; 17°,42; 18°,79; 19°,15. Die Resultate des ersten Versuchsreihe über den *Einflufs der Dicke* diathermaner Körper sind bereits (§. 311) erwähnt worden; wichtiger noch sind diejenigen, welche mit gereinigtem Rüböl erhalten wurden, weil die zunehmend dickeren Schichten dieser Flüssigkeit von weit homogenerer Beschaffenheit waren, als die

früher gebrauchten Glastafeln, in denen sich die ungleichen Streifen nicht vermeiden ließsen. Das Oel befand sich in kupfernen Kästen von gleichem Querschnitt, aber ungleicher Länge, die an ihren Enden mit gleichen Glasscheiben verschlossen und zwischen den durchbohrten Schirm und die Oeffnung des Thermomultiplicators gestellt wurden. Um den Einfluſs der Glasscheiben zu eliminiren, genügte es, einen der ungefüllten Kasten hinzusetzen und die Lampe so weit zu nähern, daſs die Nadel sich auf 30° (corr. 35°,3) einstellte, dann die Lampe durch einen Schirm zu bedecken, die Nadel wieder auf ihren Normalstand zurückgehn zu lassen und nach Wegnahme des Schirms die Messungen zu beginnen. Auf diese Weise wurden folgende einander zugehörige Gröſsen gefunden:

Dicke der Flüssigkeit	Ablenkung	Dicke der Flüssigkeit	Ablenkung
6,707 Millim.	15°,642	54,139 Millim.	9°,540
13,535 —	12,831	81,209 —	8,988
27,069 —	10,389	108,279 —	8,512

Drückt man auch hier die Gesammtmenge der Strahlen durch 1000 aus, so hat man folgende Gröſsen:

Dicke der Schicht	durchgehende Strahlen	aufgefangene Strahlen
6,707 Millim.	443	557
13,535 —	363	637
27,069 —	294	706
54,139 —	270	730
81,209 —	255	745
108,279 —	244	756

Man übersieht bald, daſs die Wärmeverluste mit der Dicke zunehmen, ohne daſs sich jedoch ein bestimmtes Gesetz hierfür herausstellt; so viel ist jedoch ersichtlich, daſs beim Eintritt[1] der Wärmestrahlen in die diathermanen Körper eine Menge derselben verloren gehe, der Rest aber sehr tief in diese Substanzen eindringe. Die bereits erwähnte merkwürdige Beob-

1 Es scheint mir wahrscheinlich, daſs auch beim Austritt der Wärme ein Verlust derselben statt findet, doch sind mir keine Versuche bekannt, die hierüber entscheiden.

achtung von Delaroche, daſs die durch eine erste Glasscheibe durchgegangenen Wärmestrahlen eine folgende mit weit geringerem Verluste durchdringen, wurde durch Melloni bestätigt, denn die Abweichungen der Nadel nach dem Zwischenbringen eines bis zu vier Glasschirmen waren 21°,62; 18°,75; 17°,10; 15°,90. Wird hierbei die Gesammtmenge der Strahlen durch 1000 ausgedrückt, so erhält man folgende Gröſsen:

Zahl der Schirme	Strahlen durchgelassene	Strahlen aufgefangene
1	619	381
2	531	469
3	484	516
4	460	540

und die Quotienten der Verluste, wenn die jedesmal vorhandene Menge als Einheit betrachtet wird, sind

0,381; 0,134; 0,087; 0,058.

Es findet also noch für die vierte Scheibe ein Verlust statt, die Gröſse desselben vermindert sich aber zunehmend, was um so auffallender ist, da die dunklen Wärmestrahlen um so weniger das Glas durchdringen, je geringere Intensität der Hitze sie besitzen.

314) Zunächst richtete Melloni seine Bemühungen auf die Beantwortung der Frage, welchen *Einfluſs die Durchsichtigkeit* und *die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper* auf die Durchleitung der Wärmestrahlen ausübe, denn frühere Versuche deuteten zwar schon auf eine Ungleichheit dieses Durchstrahlungsvermögens bei verschiedenen Körpern, auch waren keine genügenden Thatsachen vorhanden, dasselbe der Durchsichtigkeit derselben direct proportional anzunehmen, es fehlte aber noch gänzlich an genauen, unter sich vergleichbaren Resultaten. Die nachfolgenden Versuche dienen dazu, dieses wichtige Problem aufzuklären. Um aus den zu untersuchenden Flüssigkeiten geeignete Schirme zu bilden, lieſs Melloni in eine dicke Glasscheibe mit parallelen Flächen mehrere 2 Cent. Breite und 9 Cent. lange Oeffnungen einschneiden, legte auf beiden Seiten derselben flache Spiegelscheiben an, welche durch einen äuſseren messingnen Rahmen mit vier Schrauben angedrückt wurden,

und füllte die so gebildeten Räume mit den Flüssigkeiten. Die mit diesen Apparaten erhaltenen Resultate machte er dadurch vergleichbar, daſs er ein Stück der genannten, hierzu genommenen dicken Spiegelscheibe zwischen die beiden bedeckenden Gläser legte und die Lampe so weit näherte, bis die Nadel bei Anwendung dieses Schirmes, in welchem die Glasplatte eine gleiche Dicke, als die Flüssigkeitsschicht besaſs, zugleich aber, wie diese, zwischen den beiden Glasplatten lag, welche die Flüssigkeitsschicht begrenzten, eine gleiche Abweichung von 19° zeigte, als wenn sie für sich allein angewandt wurde. Die erhaltenen relativen Gröſsen des Durchleitungsvermögens für strahlende Wärme sind nach den einzelnen Gruppen in folgender Tabelle zusammengestellt.

Substanzen der Schirme.	Ablenkung	Durchfallende Strahlen
1) Farblose Gläser, 1,88 Millim. dick.		
Kein Schirm	30°,00	100
Flintglas von Guinand	22,90	67
— englisches	22,43	65
— französisches	22,36	64
— anderer Art	22,19	64
Spiegelglas	21,89	62
— andere Art	21,10	60
— noch andere Art	20,78	59
Kronglas, französisches	20,58	58
Fensterglas	19,25	54
— andere Art	18,56	52
— noch andere Art	17,83	50
Kronglas, englisches	17,22	49
2) Flüssigkeiten. Dicke 9,21 Millim.		
Spiegelglas	19°,10	53
Schwefelkohlenstoff, farblos	21,96	63
Chlorschwefel, stark rothbraun	21,83	63
Phosphorchlorür, farblos	21,80	62
Chlorkohlenwasserstoff, farblos	13,27	37
Nuſsöl	11,10	31
Terpentinöl, farblos	10,83	31
Rosmarinöl, farblos	10,46	30
Rüböl, gelb	10,38	30
Olivenöl, grüngelb	10,35	30

Substanzen.	Ab-len-kung	Durch-fallende Strahlen
Naphtha, natürliche, schwach braungelb	9°,77	28
Copaivabalsam, merklich gelbbraun	9,39	26
Lavendelöl, farblos	9,28	26
Nelkenöl, schwach gelblich . .	9,26	26
Naphtha, rectificirte, farblos . .	9,10	26
Schwefeläther, farblos	7,59	21
Schwefelsäure, farblos	6,15	17
Nordhäuser Vitriolöl, merklich braun	6,09	17
Ammoniaklösung, farblos . . .	5,47	15
Salpetersäure, farblos	5,36	15
Alkohol, absoluter, farblos . .	5,30	15
Kalihydrat, farblos	4,63	13
Essigsäure, rectificirte, farblos .	4,35	12
Holzsäure, brenzliche, schwach bräunlich	4,28	12
Zuckerwasser, farblos	4,20	12
Alaunlösung, farblos	4,16	12
Kochsalzlösung, farblos . . .	4,15	12
Eiweiſs, schwach gelb	4,00	11
Wasser, destillirtes, farblos . .	3,80	11
3) Krystallisirte Körper. Dicke 2,62 Millim.		
Spiegelglas	21°,60	62
Steinsalz, klar	28,46	92
Kalkspath, klar	21,80	62
— andere Art, klar . . .	21,30	61
Bergkrystall, farblos, klar	21,64	62
Rauchtopas, stark braun, klar .	20,25	57
Brasilianischer Topas, farblos, klar	19,18	54
Weiſsbleierz, klar	18,35	52
weiſser Achat, durchscheinend .	12,48	35
Schwerspath, klar, schielend gestreift	11,72	33
Aquamarin, klar, schwach blau .	10,16	29
Achat, gelber, durchscheinend .	10,10	29
Borax, durchscheinend	9,87	28
Turmalin, grün, klar	9,54	27
Adular, klar, schielend gestreift	8,30	24
Gyps, klar	7,15	20
Fluſsspath, klar, schielend gestreift	5,40	15
Citronensäure, klar	5,15	15
Sardonyx, durchscheinend . . .	4,98	14

Substanzen.	Ablenkung	durchfallende Strahlen
kohlensaures Ammoniak, klar, schielend gestreift	4°,50	13
weinsaures Kalinatron, klar . .	4,40	12
Alaun, klar	4,36	12
schwefelsaures Kupfer, klar, stark blau	0,0	0
4) Gefärbte Gläser. Dicke 1,85 Millim.		
dunkelviolett	18°,62	53
gelblichroth	18,58	53
purpurroth	18,10	51
lebhaft roth	16,54	47
blaſs violett	16,08	45
orangeroth	15,49	44
hellblau	15,00	42
dunkelgelb	14,12	40
schöngelb	12,08	34
goldgelb	11,75	33
dunkelblau	11,60	33
apfelgrün	9,15	26
mineralgrün	8,20	23
sehr dunkelblau	6,88	19

Der bloſse Anblick dieser Tabelle zeigt, daſs die Durchsichtigkeit der Körper keineswegs ihrer Eigenschaft, die Wärmestrahlen durchzulassen, proportional ist. Um den auffallenden Unterschied in dieser Beziehung zwischen Alaun und Rauchtopas noch weiter zu prüfen, stellte Melloni vergleichende Versuche mit einem 1,5 Millim. dicken, ganz klaren Alaunblättchen und einem polirten, 86 Millim. dicken Rauchtopase an, welcher so dunkel war, daſs er, auf grobe Druckbuchstaben gelegt, diese am hellen Tageslichte nicht erkennen lieſs; dennoch gab das Alaunblättchen nur 6°, der Rauchtopas aber 19° Abweichung der Magnetnadel. Inzwischen zeigten sich die Körper, bei denen alles Durchscheinen mangelt, als Metalle, Hölzer und Marmorarten, für Wärmestrahlen ganz undurchdringlich, woraus wieder ein gewisser Zusammenhang zwischen Licht und Wärme hervorzugehn scheint[1]. Bei den Flüssigkeiten

1 Daſs so viele Wärmestrahlen nach der Tabelle durch helles

fällt meistens die Diathermanie mit dem Brechungsvermögen zusammen, bei den krystallisirten Körpern ist dieses aber keineswegs der Fall. Vorzugsweise auffallend ist das grofse Wärmedurchlassungsvermögen des Steinsalzes in Vergleichung mit dem Glase, wie auch ohne künstliche Apparate wahrnehmbar ist, wenn man die Strahlen eines Küchenfeuers auf einen Würfel von Steinsalz und einen ähnlichen von Glas fallen läfst, in welchem Falle der letztere stark erhitzt wird, der erste aber nur unbedeutende Wärme annimmt. Beim Steinsalze ist aufserdem der geringe Einflufs der Dicke höchst merkwürdig, denn bei Schirmen von 2 und von 40 Millim. Dicke zeigte sich kein Unterschied in der Ablenkung der Nadel. Auch bei einem Kalkspathstücke von 92 Millim. Dicke ging die Ablenkung nur auf 18 ,5 Millim. herab, da sie bei 2,6 Millim. Dicke 21°,8 betrug. Die Richtung gegen die Krystallisationsaxe macht keinen Unterschied, wie sich bei gleich dicken Scheiben Bergkrystall zeigte, die in den verschiedensten Richtungen gegen diese Axe geschnitten waren.

315) In einer zweiten, gleich ausführlichen Abhandlung[1] prüft Melloni den Einflufs, welchen die *Ungleichheit der Wärmequelle* auf die Diathermanie der verschiedenen Körper ausübt. Hierbei war erforderlich, die entwickelte Wärme frei und nicht nach ihrem Durchgange durch Glas, wie früher beim Gebrauche der Argand'schen Lampe mit Glasschornstein geschehn war, anzuwenden, weswegen hierzu eine gewöhnliche Lampe mit einfachem Dochte[2], ein schraubenförmig gewundener, durch eine Weingeistflamme glühend erhaltener Platindraht, ein Kupferhut, welcher über einer Weingeistlampe eine constante Temperatur von 390° C. oder in runder Zahl 400° C.

Glas gehn, scheint mit dem (§. 311 Anm.) angeführten Versuche von Gahn im Widerspruch zu stehn; man mufs aber berücksichtigen, dafs eine Argand'sche Lampe eine weit gröfsere Weifse des Lichts hat, als ein Küchenfeuer; die starke Diathermanie des Rauchtopases stimmt übrigens mit jener Erscheinung gut überein.

1 Annales de Chim. et Phys. T. LV. p. 337. Poggendorff's Ann. XXXV. 385. 529.

2 Melloni gebrauchte eine *Locatelli'sche* Lampe; man sieht aber aus der Beschreibung, dafs jede gemeine Lampe mit einfachem Dochte und ohne Glasschornstein ausreicht, wenn ihre Flamme und daher die durch sie erzeugte Wärme lange genug sich gleich bleibt.

annahm, und ein geschwärztes, mit siedendem Wasser gefülltes Gefäfs von dünnem Kupferblech gewählt wurden. Diese verschiedenen Wärmequellen befanden sich stets in einem solchen Abstande vom Thermomultiplicator, dafs die Nadel desselben um 30° (corrig. 35°,3) abwich, und die erhaltenen Resultate sind daher unter sich vergleichbar.

316) Eine vorläufige Versuchsreihe war dazu bestimmt, zu erforschen, inwiefern die Dicke der diathermanen Körper auf die Menge der von verschiedenen Wärmequellen ausgehenden Strahlen einen Einflufs ausübt. Zu diesem Ende wählte Melloni sieben Glasplatten von zunehmender Dicke, setzte sie als Schirme den vier Wärmequellen aus und erhielt folgende Wärmestrahlen von 100, wenn L die Lampe, P den Platindraht, K das bis 390° oder 400° C. erhitzte Kupferhütchen und W das Gefäfs mit siedendem Wasser bezeichnen, welche als Wärmequelle dienten.

Dicke der Scheiben	L	P	K	W
0,07 Millim.	77,0	57	24,0	12
0,5 —	54,0	37	12,0	1
1,0 —	46,0	31	9,0	0
2,0 —	41,0	25	7,0	0
4,0 —	37,0	20	5,0	0
6,0 —	35,0	18	4,0	0
8,0 —	33,5	17	3,4	0

Die Menge der durch diathermane Körper dringenden Wärmestrahlen nimmt mit der Dicke der Lamellen ab, aber für jede Wärmequelle in einem verschiedenen Verhältnisse, und zwar in einem der Intensität der Wärmequelle umgekehrt proportionalen. Nach früheren Versuchen von Ritchie, Delaroche und Andern schienen die dunklen Wärmestrahlen gar nicht durchzudringen, weil die von ihnen angewandten Lamellen immer noch nicht dünn genug waren, Melloni aber dehnte seine Versuche auf noch weit dünnere Lamellen aus, namentlich von Gyps und Glimmer, die sich sehr leicht spalten lassen, und fand, dafs die Mengen der von allen Wärmequellen durchdringenden Strahlen sich der Gleichheit um so mehr nähern, je dünner die Blättchen werden. Hieraus geht hervor, dafs die Wärmestrahlen nicht von der Oberfläche zurückgeworfen werden, sondern allerdings in das Innere der Körper eindringen und

hier erst verschwinden, oder, wie er sich ausdrückt, daſs die Wärmestrahlen von verschiedener Abkunft mehr oder weniger schnell im Innern einer und derselben Masse erlöschen, die Theilchen der Körper also auf die strahlende Wärme eine wirkliche Absorptionskraft ausüben und zwar eine desto stärkere, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist[1]. Zugleich zeigt sich ein merkwürdiger Unterschied der verschiedenen Körper rücksichtlich ihres Vermögens, die minder hellen Wärmestrahlen am Durchgehen zu hindern, wie folgende Tabelle zeigt, worin die obigen Bezeichnungen der Wärmequellen beibehalten und die Mengen der durchgelassenen Strahlen angegeben sind.

1 Melloni scheint mir in Gefahr, sich selbst und Andere in einen Irrthum zu verstricken und dadurch einen Hauptumstand zu übersehen, wenn er bei dem Satze stehen bleibt, daſs die Wärmestrahlen um so weniger die Körper durchdringen, je geringer die Hitze der Wärmequelle ist. Allerdings ist die Intensität der Hitze einer Kerzenflamme gröſser, als die eines Gefäſses mit siedendem Wasser, denn die Hitze wächst mit zunehmender Lichtentwickelung vom dunklen Körper bis zum weiſsglühenden; allein bei den vorliegenden Versuchen war die Intensität der Wärme da, wo sie auf die Schirme fiel, allezeit gleich, denn die Wärmequelle wurde sehr zweckmäſsig und wegen der Nothwendigkeit, vergleichbare Resultate zu erhalten, so viel näher gerückt, daſs die Nadel ohne Schirm bis 30° abwich. Diesemnach wurden von den gleich intensiven Wärmestrahlen mehr von den dunklen, als von den leuchtenden absorbirt, und hiervon muſs die Ursache nothwendig in ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit liegen. Die mit Lichtstrahlen verbundenen oder zugleich Licht entwickelnden Wärmestrahlen, obgleich an Intensität den dunklen nicht überlegen, sind daher insofern von ihnen verschieden, als sie tiefer in die Körper eindringen und dieselben leichter durchdringen. Daſs übrigens diathermane Körper gar keine Wärmestrahlen von der Oberfläche zurückwerfen sollen, kann wohl nicht in ganzer Strenge gelten, denn Melloni selbst giebt (§. 824) die Gröſse der Reflexion der Wärmestrahlen von der Oberfläche des Bergkrystalls an, und Forbes erhielt unzweideutige Spuren der Polarisation durch Reflexion (§. 833).

Substanzen, 2,6 Millim. dick.	L	P	K	W
Steinsalz, klar, farblos	92	92	92	92
Flufsspath, klar, farblos . . .	78	69	42	33
Steinsalz, durchsichtig, schielend	65	65	65	65
Beryll, klar, grüngelb	54	23	13	0
Flufsspath, klar, grünlich . . .	46	38	24	20
Kalkspath, klar, farblos . . .	39	28	6	0
— klar, farblos	39	28	5	0
Spiegelglas, klar, farblos . . .	39	24	6	0
— klar, farblos	38	26	5	0
Bergkrystall, klar, farblos . . .	38	28	6	0
Rauchtopas, klar, braun . . .	37	28	6	0
saures chroms. Kali, klar, orange	34	28	15	0
Topas, klar, farblos	33	24	4	0
Weifsbleierz, klar, farblos . . .	32	23	4	0
Schwerspath, klar, schwach-schielend	24	18	3	0
Achat, durchscheinend, weifs . .	23	11	2	0
Adular, klar, schielend, gestreift	23	19	6	0
Amethyst, klar, violett	21	9	2	0
Bernstein, künstlicher, klar, gelb	21	5	0	0
Aquamarin, klar, blaugrün . . .	19	13	2	0
Achat, durchscheinend, gelb . .	19	12	2	0
Borax, durchscheinend, weifs . .	18	12	8	0
Turmalin, klar, dunkelgrün . .	18	16	3	0
Ochsenhorn, durchscheinend, braun	18	4	0	0
Gummi, gemeines, klar, gelblich	18	3	0	0
Schwerspath, klar, schielend, gestreift	17	11	3	0
Gyps, klar, farblos	14	5	0	0
Sardonyx, durchscheinend, braun	14	7	2	0
Citronensäure, klar, farblos . .	14	2	0	0
kohlens. Ammoniak, klar, schielend, gestreift	12	3	0	0
weins. Kalinatron, klar, farblos	11	3	0	0
Bernstein, natürl., durchscheinend, gelb	11	5	0	0
Alaun, klar, farblos	9	2	0	0
Leim, klar, gelbbraun	9	2	0	0
Perlmutter, durchscheinend, weifs	9	0	0	0
Kandiszucker, klar, farblos . .	8	0	0	0
Flufsspath, durchscheinend, grün	8	6	4	0
Zucker, geschmolzener, klar, gelblich	7	0	0	0
Eis, sehr rein, klar, farblos . .	6	0	0	0

Aus diesen Versuchen geht das wichtige Resultat hervor, dafs es Wärmestrahlen von verschiedener Beschaffenheit giebt, indem einige von gewissen Körpern mehr als andere absorbirt werden. Eben dieses zeigt sich auch, wenn man gleich intensive Wärmestrahlen einer Lampe, nachdem sie durch ein schwarzes undurchsichtiges Glas gegangen sind, die freien des glühenden Platins, des 400° heifsen Kupfers und des Wassergefäfses durch eine 1 bis 2 Millim. dicke Glasscheibe auf die Säule fallen läfst. Nennt man die Menge der durch die Glasscheibe gedrungenen Strahlen für die erste Wärmequelle 1, so ist sie für die zweite 0,7 bis 0,8; für die dritte 0,12 bis 0,15; für die vierte endlich 0, obgleich in allen vier Fällen dunkle Wärme vorhanden ist[1]. Am merkwürdigsten in dieser Beziehung ist das Steinsalz, welches unter allen untersuchten Körpern allein von den verschiedenen Wärmestrahlen eine gleiche Menge absorbirt und durchläfst. Dieselbe Erfahrung zeigt sich auch dann, wenn die Wärmequellen eine noch geringere Intensität haben, z. B. wenn man sie von Gefäfsen ausströmen läfst, in denen sich nur bis 45° C. erwärmtes Wasser befindet, wie nicht minder bei der Anwendung dickerer Schirme, insofern Steinsalzplatten von 15 bis 20 Millim. Dicke von allen vier Wärmequellen eine gleiche Menge durchlassen. Melloni vergleicht dieses mit dem Durchlassen der Lichtstrahlen durch verschiedenfarbige Gläser, indem nur die mit den farbigen Medien gleiche Farben besitzenden Lichtstrahlen frei durch diese dringen, die andern aber absorbirt werden, und es wären demnach die dunkleren Wärmestrahlen den farbigen Lichtstrahlen ähnlich, die nur durch gewisse Körper dringen, die von der Sonne oder einer hellglänzenden Flamme ausgehenden aber dem weifsen Lichte. Die Körper zerfallen hiernach in *diathermane* und *athermane*, und die ersteren wieder in *universelle* und *partielle*, wobei es nur eine einzige universell diathermane, den farblosen Mitteln zu vergleichende Substanz giebt, das Steinsalz; alle übrige aber, die den farbigen durchsichtigen Substanzen analog sind, gehören zu den partiellen. Man nimmt meistens an, und dieser Ansicht war anfangs auch Melloni, dafs alle nicht diaphane Körper zugleich atherman sind, allein Versuche mit schwarzem Glase und schwarzem Glimmer,

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 211.

die das intensivste Sonnenlicht vollständig auffingen, zeigten sich nach folgender Tabelle, worin die nämlichen Bezeichnungen beibehalten sind, als partiell diathermane:

	L	P	K	W
schwarzes Glas, 1 Millim. dick . .	26	25	12	0
— — 2 — — . .	16	15,5	8	0
schwarzer Glimmer, 0,6 Millim. dick	29	28	13	0
— — 0,9 — —	20	20	9	0

Was früher DELAROCHE beobachtete und MELLONI bestätigt fand, daſs Wärmestrahlen, wenn sie durch eine diathermane Platte gedrungen sind, durch eine zweite mit geringerem Verluste dringen, zeigt sich gleichfalls dem Verhalten des Lichtes analog, denn die weiſsen Lichtstrahlen verlieren viel beim Durchfallen durch eine farbige Glasplatte, die durch diese gedrungenen farbigen aber verlieren nur wenig, wenn sie eine zweite Platte von gleicher Farbe durchdringen.

317) Bedient man sich der nämlichen Wärmequelle, aber von ungleicher Intensität, so scheint es, als müsse man annehmen, daſs die unter übrigens gleichen Bedingungen erzeugte Wärme den Intensitäten direct proportional seyn werde, allein die Versuche bestätigten dieses nicht. Hierbei diente ein hohler Würfel von dünnem Metallblech mit heiſsem Wasser gefüllt, welcher die Wärme aus seiner mit Kienruſs überzogenen Fläche aus gleichen Entfernungen gegen die thermoelektrische Säule strahlen lieſs. Die Temperatur des Wassers wurde durch Thermometer gemessen, und die folgende Tabelle enthält unter T die Temperatur des Wassers, unter t den Ueberschuſs über die äuſsere Temperatur und unter Θ die Grade der Temperatur, welche die Säule anzeigte, alle nach der hunderttheiligen Scale.

T	t	Θ	T	t	Θ
100°	75°	35°,58	60°	35°	12°,21
94	69	30,81	55	30	9,85
90	65	28,25	50	25	7,75
85	60	25,23	45	20	5,34
80	55	22,40	40	15	3,60
75	50	19,68	35	10	2,05
70	45	17,01	30	5	0,92
65	40	14,45			

Sucht man die Quotienten $\Theta : t$, so sind sie einander durchaus nicht gleich, wie zu erwarten wäre, sondern $\frac{35,58}{75} = 0,4577$; $\frac{19,68}{50} = 0,3936$; $\frac{5,34}{20} = 0,267$ u. s. w. Man mufs also annehmen, dafs die Wärmestrahlen beim Durchgange durch die geschwärzte Metallplatte einen mit der Abnahme ihrer Intensität wachsenden Verlust erlitten[1].

318) Die Wärmestrahlen zeigen, wie die Lichtstrahlen, die Fähigkeit gebrochen zu werden, und da das Steinsalz der einzige universell diathermane Körper ist, so mufs man diesen bei den Versuchen über die *Refraction* der Wärmestrahlen in Anwendung bringen. Nach früheren Versuchen gaben Glaslinsen gegen ein Küchenfeuer gehalten zwar einen hellen Brennpunct, allein dieser hatte nur eine geringe Wärmeintensität, und Scheele[2] behauptete, ein Thermometer steige in demselben gar nicht, wogegen jedoch Herschel und Brande[3] fanden, dafs einige mefsbare Wärme vorhanden sey, ohne Zweifel deswegen, weil sie ein heller brennendes Feuer anwandten. Die Brechbarkeit, selbst der ganz dunklen Wärmestrahlen, wurde aber durch folgenden Versuch unwiderlegbar entschie-
Fig. den. Melloni stellte das Gefäfs mit siedendem Wasser hinter
59. den Schirm, und die thermoelektrische Säule S so, dafs die nach O fortgepflanzten Wärmestrahlen sie nicht treffen konnten, weswegen die Magnetnadel auf 0 stehn blieb. Darauf stellte er auf das Tischchen G ein Steinsalzprisma vertical, die hierdurch gebrochenen Wärmestrahlen fielen auf die Säule, und die Nadel zeigte augenblicklich die Erwärmung der thermoelektrischen Säule. Dafs dieses keine Folge der Erhitzung des Prisma's sey, ergab sich deutlich; denn wenn man den brechenden Winkel desselben umkehrte, ging die Nadel sofort auf 0 zurück. Eine interessante Frage hierbei war, ob die von ungleichen Wärmequellen ausgehenden Strahlen eine verschiedene
Fig. Brechbarkeit zeigen. Um dieses auszumitteln, stellte Melloni
60. eine thermoelektrische Säule M von 15 über einander liegenden

1 Möglicherweise könnte dieser Verlust auch ganz oder zum Theil vom Durchgange durch die Luft herrühren.

2 Dessen Werke Th. I. S. 125.

3 Philos. Trans. 1800 und 1820.

Paaren Wismuth und Antimon auf das Lineal D, welches auf dem Kreisbogen AB verschiebbar lag. Die Wärmestrahlen von dem glühenden Platindrahte wurden durch das Steinsalzprisma gebrochen, und die thermoelektrische Säule so lange verschoben, bis die Nadel die gröfste Intensität der Wärme zeigte. Wurde dann statt des Platins die Lampe hingestellt, so mufste das Lineal etwa zwei Linien weiter nach B geschoben werden, um die gröfste Wärmeintensität zu erhalten, und um drei Linien nach A zu, wenn das erhitzte Kupferhütchen angewandt wurde; das Gefäfs mit siedendem Wasser hatte zu geringe Intensität, als dafs eine genaue Messung damit gestattet wäre. Hiernach sind also die dunkleren, weniger intensiven Wärmestrahlen die am wenigsten brechbaren, so wie die am meisten leuchtenden farbigen Lichtstrahlen eine geringere Brechung erleiden, als die minder leuchtenden. Eine Linse aus Steinsalz gewährt hiernach die Vortheile, dafs man damit geringe Wärmemengen concentriren oder auch die Strahlen einer intensiveren Wärmequelle, wenn man letztere in den Brennpunct der Linse bringt, weit fortpflanzen kann.

319) Die hieraus hervorgehende auffallende Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichtes und der Wärme mufste nothwendig die Frage veranlassen, ob sich bei den Strahlen der letzteren nicht auch eine Art von *Polarisation* zeige. Das Wenige, was Delaroche und Berard in dieser Beziehung mitgetheilt haben, wovon bereits die Rede war, ist von geringer Bedeutung, eine eigene Polarisation der Wärmestrahlen dagegen ist zuerst durch Forbes aufgefunden worden, wie sogleich erwähnt werden soll; wir wollen aber, um den Zusammenhang nicht zu unterbrechen, die durch Melloni anfangs erhaltenen verneinenden Resultate hier vorläufig erwähnen. Da die Lichtpolarisation leicht durch Turmalinplatten bewirkt wird, welche der Krystallisationsaxe parallel geschnitten sind, so klebte Melloni über die vierkantige Oeffnung einer Kupferplatte mit etwas Wachs eine Turmalinplatte, deren Axe einer der Seiten parallel war, legte eine zweite ebenso vorgerichtete Kupferplatte darüber, verfertigte sich auf die nämliche Weise eine zweite solche Platte, und brachte beide als Schirm in seinen Apparat, konnte aber keinen Unterschied wahrnehmen, wenn die Axen der Turmaline einander parallel oder sich rechtwinklig schneidend waren, auch konnten sie sich, ohne irgend einen

Einfluſs zu äuſsern, in sonstigen Winkeln schneiden, und er folgerte also hieraus, daſs die irdischen Wärmestrahlen durch Turmalinplatten nicht polarisirbar seyen. Ein eigenthümliches Verhalten zeigten diese Strahlen dagegen, wenn sie durch eine diathermane Platte gegangen noch eine zweite durchdringen muſsten. Man nehme an, daſs die durch eine Platte Citronensäure fallenden Strahlen eine Ablenkung der Nadel von 30° bewirkten. Wurde dann eine Platte Alaun so gestellt, daſs die durch die Citronensäure gegangenen Strahlen diese gleichfalls durchdringen muſsten, ehe sie zur thermoelektrischen Säule gelangten, so ging die Magnetnadel nur um 3 bis 4 Grade zurück. Statt der Alaunplatte konnten auch andere Substanzen gewählt werden, Melloni behielt aber diese bei, lieſs die Strahlen vorher durch andere Platten als die Citronensäure fallen, und erhielt dann die in nachfolgender Tabelle angegebenen Werthe, indem die erste Columne die Schirme bezeichnet, durch welche 100 Strahlen auf die Alaunplatte fielen, die zweite aber diejenige Menge, welche von diesen durch die Alaunplatte drangen.

Schirme.	Strahlen.
Kein Schirm	9
schwarzer Glimmer, undurchsichtig	2
grüner Turmalin	7
Steinsalz, klar	9
Steinsalz, schielend	9
Borax	11
Schwerspath	12
Adular	14
saures chromsaures Kali	14
weiſser Glimmer	15
Beryll	19
Aquamarin	19
Kalkspath	22
Perlachat	24
gelber Achat	24
Bergkrystall	25
Spiegelglas	27
gelber Bernstein	30
kohlensaures Ammoniak	31
Gummi	45
Gyps	72
weinsaures Kalinatron	80
Citronensäure	85
Alaun	90

Die Aehnlichkeit, welche sich hiernach zwischen den Wärmestrahlen und Lichtstrahlen herausstellt, insofern Wärmestrahlen, die bereits durch ein absorbirendes Medium gedrungen sind, in einem zweiten mehr oder weniger verlieren, bezieht sich nicht sowohl auf die Polarisation, als vielmehr auf die Eigenschaft, dafs Lichtstrahlen, die durch farbige Medien gedrungen sind, andere gleichfarbige leichter durchdringen, als anders gefärbte. Melloni gebraucht hierfür den ihm von Ampère angegebenen Ausdruck *Diathermansie*, insofern Citronensäure, Gyps u. s. w. eine dem Alaum sehr ähnliche, Steinsalz, Borax u. s. w. aber eine sehr verschiedene Diathermanie besitzen.

320) Melloni brachte nochmals die Frage zur Untersuchung, ob die Farbe des Glases einen Einflufs auf die Diathermanie habe, und erhielt aus seinen Versuchen mit gefärbten Glasplatten, sämmtlich 1,85 Millim. dick, folgende unter A angegebene, von 100 durchgelassene Strahlen; drangen aber 100 Strahlen durch die nämlichen gefärbten Gläser und dann durch eine Alaunplatte, so liefs letztere die unter B angegebenen hindurch.

Gefärbte Gläser	A	B
weifses Glas	40	27
dunkelrothes Glas	33	27
orangefarbenes Glas	29	27
lebhaft gelbes Glas	22	27
apfelgrünes Glas	25	5
mineralgrünes Glas	23	3
blaues Glas	21	27
indigofarbiges Glas	12	27
violettes Glas	34	27
schwarzes, undurchsichtiges Glas	17	1

Hieraus geht hervor, dafs jede Färbung des Glases seine Diahermanie schwächt, eine bestimmte Reihenfolge aber, wie die bnehmende Wärme in den farbigen Strahlen des Spectrums, ndet nicht statt; die Diathermansie wird, mit Ausnahme er grünen und schwarzen Färbung, durch die Farben nicht geändert, sondern ist der beim ungefärbten Glase gleich, wo-i jedoch zu bemerken, dafs der Alaun für sich bei gleicher

Dicke der Platte von 100 Strahlen nur 9 durchliefs, mithin alle gefärbte Gläser, mit Ausnahme der grünen und des schwarzen, die Wärmestrahlen so modificirten, dafs von ihnen dann dreimal so viel durch die Alaunplatte drangen. Warum namentlich das grüne, mit Kupfer gefärbte Glas hiervon eine Ausnahme macht, ist allerdings schwer zu entziffern.

321) Das angegebene Verfahren läfst sich auch umkehren, wenn man, anstatt die Wärmestrahlen erst durch die genannten diathermanen Substanzen und dann durch die Alaunplatte fallen zu lassen, sie vielmehr zuerst durch die Alaunplatte und dann durch sonstige diathermane Substanzen dringen läfst. Da man aber statt der Alaunplatte auch Platten von jeder andern Substanz wählen kann, so giebt dieses eine ausnehmend grofse Menge von Combinationen. Melloni hat seine Versuche nur auf fünf Substanzen ausgedehnt und die erhaltenen Resultate in einer Tabelle neben einander gestellt. In dieser sind in der ersten Columne diejenigen Substanzen genannt, welche zwischen die Alaunplatte oder eine Platte aus den andern vier Substanzen und die thermoelektrische Säule gestellt werden und auf welche jederzeit 100 Wärmestrahlen aus der vor ihnen befindlichen, der Wärmequelle zugewandten Platte fallen, in den folgenden Columnen sind aber die Mengen von Wärmestrahlen genannt, welche sie von diesen 100 Strahlen durchlassen, die aus einem der vor ihnen befindlichen diathermanen Schirme auf sie fallen, und zwar

in Columne	A,	wenn der Schirm eine	Alaunplatte	von 2,6	Millim.,
–	— G,	— —	— Gypsplatte	— 2,6	— —
–	— K,	— —	— Platte von chroms. Kali	— 2,6	— —
–	— gG,	— —	— grüne Glasplatte	— 1,85	— —
–	— sG,	— —	— schwarze Glasplatte	— —	— —

Dicke ist.

Platten[1].	A	G	K	gG	sG
Steinsalz	92	92	92	92	92
Flufsspath	90	91	88	90	91
Beryll	80	91	66	70	57
Kalkspath	91	89	56	59	55
Glas, 0,5 Millim. dick . .	90	85	68	87	80
Glas, 8 Millim. dick . .	90	82	47	56	45
Bergkrystall	91	85	52	78	54
saures, chroms. Kali . .	57	53	71	28	24
Schwerspath	36	47	25	60	57
weifser Achat	70	78	30	43	17
Adular	23	58	43	50	23
Bernstein	65	61	20	13	8
Glimmer, schwarzer, opaker, 0,9 Millim. dick . . .	0,4	12	16	38	43
Achat, gelber	57	64	24	35	14
Aquamarin	60	57	26	20	21
Borax	23	33	23	30	24
Turmalin, grüner	1	10	14	24	30
Gummi, gemeines	61	52	12	6	4
Gyps	59	54	22	9	15
Gyps, 12 Millim. dick .	56	45	17	5	0,4
Ammoniak, kohlensaures .	44	34	11	6	5
Citronensäure	88	52	16	3	2
weinsaures Kalinatron . .	85	60	15	2	1
Alaun	90	47	15	0,5	0,3
weifses Glas[2]	90	83	50	67	55
violettes Glas	76	72	42	56	47
rothes Glas	74	69	41	54	45
orangefarbenes Glas . . .	65	58	36	48	39
apfelgrünes Glas	3	20	22	55	50
mineralgrünes Glas . . .	1	15	19	52	58
gelbes Glas	49	46	27	35	30
blaues Glas	47	42	26	34	29
schwarzes undurchsichtiges Glas	0,5	18	11	42	52
indigofarbiges Glas . . .	27	26	14	20	17

1 Die Dicke derselben betrug bei allen 2,6 Millim. Ausnahmen davon sind besonders angegeben worden.

2 Die Dicke dieses und der folgenden Gläser betrug 1,85 Millimeter.

Melloni zeigt an einigen Beispielen, daſs die Stellung der Platten auf den Durchgang der Wärmestrahlen keinen Einfluſs hat, indem sich dasselbe Verhältniſs zeigt, wenn die nämlichen Platten sich abwechselnd in der vorderen oder hinteren Stelle befinden. Nimmt man z. B. Alaun und chromsaures Kali, so lassen diese für sich von 100 Wärmestrahlen 9 und 34 durch. Sollen sie daher 100 Strahlen durchlassen, so hätte man die Proportionen:

$$9:100 = 100:x \quad \text{und}$$
$$34:100 = 100:x,$$

welches 1111 für Alaun und 294 für chromsaures Kali giebt. Wenn aber das chromsaure Kali von Alaun 100 Strahlen empfängt, so läſst es 57 durch, und wenn der Alaun vom chromsauren Kali 100 empfängt, so läſst er 15 durch, beides nach Angabe der Tabelle. Es ist aber wirklich

$$57:15 = 1111:294,$$

woraus der angegebene Satz folgt. Dagegen zeigen sich die Körper ungleich diatherman für die bereits durch einen andern Körper durchgegangenen und die unmittelbar auf sie fallenden Strahlen. So sind Glas, Kalkspath und Bergkrystall diathermaner für die durch alle fünf in der Tabelle enthaltenen Körper durchgefallenen Strahlen, als für die, welche von der Wärmequelle unmittelbar ausgehn, Citronensäure und weinsaures Kali aber sind für die durch Alaun und Gyps gedrungenen Strahlen permeabeler, für die durch grünes und schwarzes Glas gedrungenen dagegen weniger permeabel, als für die von der Wärmequelle selbst kommenden. Undurchsichtiger Glimmer und Turmalin wirken im entgegengesetzten Sinne und überhaupt findet in dieser Beziehung kein allgemeines Gesetz statt, weswegen es um so merkwürdiger ist, daſs das Steinsalz keinem dieser Wechsel unterliegt, indem es stets die nämliche Menge von Wärmestrahlen durchläſst, sie mögen von der Wärmequelle unmittelbar ausgegangen seyn oder bereits andere Körper durchdrungen haben. Die durch Alaun durchgegangenen Strahlen haben die Eigenschaft erhalten, daſs sie alle farblosen Körper in groſser Menge durchdringen, durch farbige aber stark absorbirt werden, die durch grünes und schwarzes Glas gegangenen dagegen haben gerade die entgegengesetzte Eigenschaft, indem sie opake Körper leicht durchdringen, von durchsichtigen

aber stark absorbirt werden; erstere gleichen daher mehr den von der Sonne ausgehenden, letztere mehr den von dunklen Wärmequellen ausgehenden Wärmestrahlen. Um diesen Unterschied der Wärmestrahlen noch weiter zu prüfen, liefs Melloni Sonnenstrahlen durch eine mit grünem Glase bedeckte Oeffnung in ein dunkles Zimmer auf die geschwärzte Kugel eines Differentialthermometers fallen. Die Flüssigkeit sank durch die entbundene Wärme sogleich bedeutend, kehrte nur wenig zurück, als dicht bei der Oeffnung eine klare Glasplatte eingeschoben wurde, aber sehr merklich, als statt ihrer eine Alaunplatte diente. Die rückgängige Bewegung der Flüssigkeit wurde bemerkbarer, als die dünne Glasplatte weggenommen und statt ihrer eine dickere hingehalten ward, sobald aber eine Platte Steinsalz an deren Stelle kam, sank die Flüssigkeit augenblicklich zu ihrer vorigen Tiefe. Melloni folgert hieraus, *dafs im Sonnenlichte eben solche verschiedene Wärmestrahlen gemischt sind, als in dem von irdischen leuchtenden Körpern ausgehenden*. Hiernach giebt es nur einen einzigen diaphanen und farblosen Körper, welcher auf Licht- und Wärmestrahlen auf gleiche Weise einwirkt, alle übrige lassen Licht von jeglicher Art ohne Unterschied durchgehn, absorbiren aber gewisse Wärmestrahlen und lassen andere durchgehn. Dieses ist die Eigenschaft, welche Melloni durch den Ausdruck: *Diathermansie* bezeichnet, eine Art von Färbung für Wärmestrahlen, insofern sie auf die verschiedenen Arten der Wärmestrahlen auf ähnliche Art wirken, als farbige diaphane Körper auf die verschieden gefärbten Lichtstrahlen. Gewöhnliche Linsen und Prismen von Glas können daher nur einen gewissen Theil der strahlenden Wärme brechen, denn das Glas absorbirt einige der aus leuchtenden Wärmequellen abstammenden Strahlen und absorbirt fast die Gesammtheit der dunklen Wärmestrahlen.

312) Melloni hat noch eine Eigenthümlichkeit der durch diathermane Körper durchgegangenen Wärmestrahlen weiter verfolgt, die zuerst durch Baden Powell[1] aufgefunden wurde. Dieser liefs die Strahlen einer Argand'schen Lampe und ei-

1 Report of the first and second Meetings cet. p. 274. Poggendorff's Ann. XXI. 316. London and Edinburgh Phil. Mag. N. XLII. p. 475.

nes rothglühenden Eisens aus gleichen Entfernungen auf eine *schwarz* und eine *weiſs* gefärbte Kugel zweier empfindlicher Thermometer fallen und erhielt für das glühende Eisen das Verhältniſs 100:78, für die Argand'sche Lampe aber 100:72; als er aber eine Glasplatte dazwischen schob, wurden diese Verhältnisse in 100:50 und 100:57 verwandelt. Melloni dehnte diese Versuche noch auf verschiedene andere Glassorten aus, und bediente sich dazu seines Thermomultiplicators, dessen eine Fläche er mit Kienruſs, die andere mit Bleiweiſs, beide vermittelst Gummiwassers, überzog. Dieser Apparat gewährte den Vortheil, daſs er sich umdrehn lieſs, um die eine und die andere Seite in gleicher Entfernung der Wärmequelle, und zwar der von ihm gebrauchten Lampe ohne Schirm, entgegenzurichten, auch wurde dadurch die bei Thermometern so leicht statt findende Ungleichheit derselben unter einander vermieden. Wird dann die Menge der durch die verschiedenen Körper dringenden und von der schwarzen Fläche aufgenommenen Wärmestrahlen durch 100 ausgedrückt, so betrug die Menge der von der weiſsen aufgenommenen, nach der Wirkung auf die Magnetnadel:

Zwischengebrachte Schirme.	Strahlen
Lampe ohne Schirm	80,5
Schirm von Steinsalz . . .	80,5
— — Alaun	42,9
— — farblosem Glase .	54,2
— — hellrothem Glase .	60,6
— — dunkelrothem Glase	77,8
— — hellgelbem Glase .	55,5
— — dunkelgelbem Glase	63,6
— — hellgrünem Glase .	67,4
— — dunkelgrünem Glase	70,5
— — hellblauem Glase .	61,0
— — dunkelblauem Glase	66,9
— — hellviolettem Glase	67,6
— — dunkelviolettem Glase	76,7
— — undurchsichtigem schwarzem Glase .	84,6

Die Alaunplatte absorbirt hiernach die meisten Strahlen, welche eine weiſse Fläche aufzunehmen vermag, oder welche in diese einzudringen vermögen, eine farblose mehr als alle gefärbte, und

von den letzteren die dunkleren weniger, als die helleren, ja ein undurchsichtiges schwarzes Glas bewirkt sogar, dafs die weifse Fläche mehr Strahlen aufnimmt, als ohne die Dazwischenkunft einer solchen Platte[1].

323) Hierher gehört dann auch der oben (§. 264 ff.) bereits erwähnte Unterschied zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärmestrahlen. Beides sollte für die nämlichen Körper gleich seyn, allein die genannten Versuche zeigten einen bedeutenden Unterschied, und dieser blieb beständig bei Wiederholung derselben, wonach also die Ursache nicht in Beobachtungsfehlern liegen kann. Die Sache findet aber ihre Erklärung einfach darin, dafs man aufser der Intensität der Wärmestrahlen zugleich die Diathermansie berücksichtigen mufs. Man übersieht dieses sehr deutlich, wenn die Strahlenmengen beim Ausströmen mit den absorbirten und zwar letztere bei Anwendung verschiedener Wärmequellen zusammengestellt werden, wie in folgender Tabelle, wo die Bezeichnungen L, P, K, W ihre vorige Bedeutung behalten.

Substanzen	Ausstrahlung	Absorption L	Absorption P	Absorption K	Absorption W
Kienrufs	100	100	100	100	100
Bleiweifs	100	53	56	89	100
Hausenblase	91	52	54	64	91
Tusch	85	96	95	87	85
Gummilack	72	43	47	70	72
blanke Metallfläche . . .	12	14	13	13	13

Es darf hierbei nicht übersehn werden, dafs die Ausstrahlungsversuche mit einem metallenen Würfel, worin Wasser durch eine untergesetzte Weingeistlampe stets siedend blieb, angestellt wurden, die emittirten Strahlen also der dunklen Wärme angehörten; die absorbirten dagegen entsprangen aus unter sich verschiedenen Wärmequellen. Aus den Resultaten ergiebt sich dann, dafs das Absorptionsvermögen der Oberflächen für Strah-

1 Hierin dürfte zum Theil der Grund des oben (§. 310) erwähnten Versuches von GAHN liegen, wenn man berücksichtigt, dafs die durchfallenden Strahlen von der weifsen Hand aufgefangen wurden.

len, die aus ungleichen Wärmequellen kommen, merklich verschieden ist, dem Emissionsvermögen eben dieser Flächen aber um so näher kommt, je weniger intensiv die Wärme ist, für die dunkle des siedenden Wassers endlich ihm völlig gleich kommt. Auf Metallflächen scheint die verschiedene Art der Wärmestrahlen keinen Einfluſs zu haben; auch ist bei ihnen das Emissionsvermögen dem Absorptionsvermögen für alle Arten von Wärmestrahlen gleich. Dieses stimmt damit überein, daſs Metallspiegel alle Arten Wärmestrahlen auf gleiche Weise reflectiren.

324) Aus der Eigenschaft des Steinsalzes wurde oben gefolgert, daſs sich dasselbe vorzugsweise zu Sammlungslinsen für Wärmestrahlen eigne; aus dem so eben Gesagten folgt aber, daſs metallene Hohlspiegel eine gleiche Wirkung haben. Um aber zu einer Entscheidung der Frage zu gelangen, welchen von beiden der Vorzug gebühre, müssen die reflectirenden Kräfte beider untersucht werden. Nimmt man die Aufgabe allgemein, so folgt aus den bekannten Versuchen von Rumford und Andern, daſs die Gröſse der *Reflexion* für Wärmestrahlen durch die Beschaffenheit der Oberflächen bedingt werde, die Untersuchungen Melloni's geben aber die Mittel, sie in einzelnen Fällen zu bestimmen[1]. Fallen die Wärmestrahlen auf eine diathermane Platte mit parallelen Oberflächen, so erleiden sie an der Vorderfläche eine gewisse Reflexion, dringen in das Innere, werden daselbst zum Theil absorbirt, gelangen zur Hinterfläche, erleiden daselbst eine theilweise Reflexion, und treten dann, hierdurch verringert, in die Luft. In Steinsalz ist aber ein Körper gegeben, welcher gar keine Wärme absorbirt, denn der Verlust der durchgehenden Wärmestrahlen ist für jede Dicke der Platten gleich und rührt somit bloſs von der Reflexion an den Flächen her. Da aber eine Steinsalzplatte unter allen Bedingungen und für alle Arten von Wärmequellen gleichen Verlust erzeugt, indem von 100 Strahlen nur 92,3 durchgelassen werden, so ist 1 — 0,923, also 0,077 diejenige Menge, welche von der vorderen und hinteren Fläche reflectirt wird. Zur Auffindung der Reflexionsgröſse in einem gegebenen Falle führt dann folgende Betrachtung. Es sey die Menge der auffallenden Strahlen der Einheit gleich, die Menge der von der

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 212.

Vorderfläche reflectirten Strahlen = R, so ist die Menge der eindringenden Strahlen 1 — R und die von der Hinterfläche reflectirte = R (1 — R), weil eine Quantität Strahlen = 1 — R bei mangelnder Absorption zur Hinterfläche gelangt. Beide summirt und zu der durchstrahlenden Menge addirt müssen der Einheit gleich seyn, welches giebt

$$R + R(1-R) + 0{,}923 = 1,$$

woraus

$$R = 1 \pm \sqrt{0{,}923} = 1 \pm 0{,}9607.$$

Der an der Vorderfläche reflectirte Antheil ist also = 1 — 0,9607 = 0,0393 und der von der Hinterfläche = 0,0377. Will man hiernach die Reflexion irgend einer andern Platte finden, so darf man nur erwägen, dafs dicke Platten anderer Substanzen ebensoviel Wärmestrahlen durchlassen, als wenig dickere Platten. Eine Glasplatte z. B. von 8 Millim. Dicke läfst unmerklich weniger Strahlen durchfallen, als eine andere von 8,5 Millim. Dicke, und eine 0,5 Millim. dicke Schicht bewirkt daher keine bemerkbare Absorption der Strahlen, die bereits eine 8 Millim. dicke Platte durchdrungen haben. Nimmt man also diese dünne Platte für sich allein und setzt sie den durch die 8 Millim. dicke Platte gedrungenen Strahlen aus, so wird ein Theil reflectirt und der ganze Rest durchgelassen, wobei der verlorene Antheil ausschliefslich der Effect der beiden Reflexionen ist. Sorgfältige Versuche ergeben sehr nahe 0,923 für die durchgelassene Wärmemenge und es gehn also 0,077 durch Reflexion verloren, und dieses gilt nicht blofs für Glas, sondern auch für andere Substanzen, wenn die dünnen Platten klar und gut polirt sind. Eben dieses Resultat wird erhalten, wenn man die Strahlen erst durch eine dickere Platte irgend einer diathermanen Substanz und dann durch eine dünne Platte eines andern gleichfalls diathermanen Körpers dringen läfst. Hiernach darf also angenommen werden, dafs von den senkrecht auf die Oberfläche diathermaner Körper fallenden Strahlen ungefähr 0,04 durch Reflexion verloren werden.

325) Um die *Reflexion von den Oberflächen athermaner Körper* zu finden, beobachtet man zuerst den Durchgang der Wärmestrahlen irgend einer Wärmequelle durch eine Steinsalzplatte beim senkrechten Einfall derselben auf die Fläche der

Platte und neigt sie dann gegen die Axe des Strahlenbündels. So lange der Winkel, welchen diese Axe mit dem Einfallslothe der Platte bildet, nicht grösser als 30° bis 35° ist, zeigt die durchgelassene Menge keine merkliche Abnahme. Man lasse also die Wärmestrahlen einer constanten Wärmequelle gegen eine sehr dicke Glasplatte so fallen, dafs sie einen Winkel von 55° bis 60° mit der Fläche derselben bilden, fange die reflectirten Strahlen mit dem Thermomultiplicator auf und nenne die gemessene Wärme a, setze dann, ohne etwas an der Vorrichtung zu ändern, an die Stelle der Glasplatte die zu untersuchende Platte des athermanen Körpers und messe die erzeugte Wärmemenge b, so hat man, da die Reflexion der Glasplatte = 0,0393 ist, die Reflexion der athermanen Platte $x = 0{,}0393 \times \frac{b}{a}$. Bei Bergkrystall und polirtem Messing war b = 35,63; a = 3,15; x = 0,44. Es verhalten sich also die durch eine Steinsalzlinse und einen Messingspiegel, beide von gleichem Durchmesser, concentrirten Strahlen wie 0,923 : 0,44, wenn beider Brennpuncte gleiche Entfernung haben, und ein konischer messingner Schirm vor einer thermoelektrischen Säule wird also nur ungefähr $\frac{4}{9}$ so viele Wärmestrahlen concentriren, als eine Steinsalzlinse von gleichem Durchmesser. Verkleinert man den Winkel, welchen die Axe der auffallenden Wärmestrahlen mit der Fläche bildet, so ist die Wärmezunahme durch Reflexion beim Glase und beim Bergkrystall bedeutend, bei Messing aber betrug sie kaum 0,04 bis 0,05, als dieser Winkel von 80° auf 20° verringert wurde.

326) Endlich hat Melloni noch den bereits erörterten, von Baden Powell[1] zuerst wahrgenommenen Einflufs einer zwischenkommenden Glasplatte auf das Absorptionsvermögen auch für verschiedene Oberflächen untersucht. Bei Anwendung der Lampe schob er zwischen eine mit verschiedenen Substanzen überzogene, vor der Säule befindliche Kupferplatte und die Wärmequelle eine Glasscheibe und erhielt dann folgende Absorptionen, wobei wir zur leichteren Vergleichung die in der dritten Columne der vorigen Tabelle genannten Werthe hier wiederholen.

1 Vergl. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XL. p. 296. N. XLII. p. 475. N. XLIV. p. 23. N. XLV. p. 109.

Oberflächen.	Ohne Glas	Mit Glas
Kienrufs	100	100
Bleiweifs	53	24
Hausenblase	52	45
Tusch	96	100
Gummilack	43	30
Metallfläche	14	17

Hiernach werden die Mengen der absorbirten Strahlen durch das Zwischenbringen einer Glasscheibe bei der Metallfläche und bei einem Ueberzuge von Tusch vermehrt, bei Kienrufs bleibt sie unverändert, bei allen übrigen aber wird sie vermindert.

327) Nachträglich sucht Melloni[1] noch die Aehnlichkeit zwischen den verschiedenen Wärmestrahlen und den ungleich gefärbten Lichtstrahlen durch einige sinnreiche Versuche weiter zu begründen. Gäbe es nur einerlei Art Wärmestrahlen, so könnte kein Unterschied zwischen Diathermanie und Diathermansie statt finden, oder vielmehr die letztere Eigenschaft könnte gar nicht als eine besondere existiren, alle Körper müfsten mehr oder minder diatherman, d. h. für jede Art von Wärmestrahlen auf gleiche Weise mehr oder minder durchgängig seyn. Da dieses nicht der Fall ist, manche Körper vielmehr für gewisse Strahlen, namentlich die aus dunklen Wärmequellen entspringenden, diathermaner sind, als für andere, so mufs diese Eigenschaft mit einem eigenthümlichen Worte bezeichnet werden, wofür Melloni den Ausdruck *Diathermansie* gewählt hat. Die ungleiche Diathermansie diathermaner Körper mufs dann nothwendig in der ungleichen Beschaffenheit ihrer Molecüle oder der Aggregation derselben gegründet seyn, allein sie wäre dennoch ohne eine gleichfalls statt findende ungleiche Beschaffenheit der Wärmestrahlen unmöglich, weil nur gewisse Strahlen durch die mit eigenthümlicher Diathermansie begabten Körper leichter hindurchgehn. Hierbei drängt sich unwillkürlich die Aehnlichkeit mit der verschiedenen Färbung diaphaner Körper von selbst auf, indem durch diese allerdings Lichtstrahlen, aber nur eigenthümlich gefärbte hindurchgehn, andere aber nicht,

1 Comt. rend. T. IX. p. 315. Poggendorff's Ann. XLVIII. 326. Ausführlich in Ann. de Chim. et Phys. T. LXXII. p. 40.

nach welcher Analogie dann der Ausdruck *farbige Wärmestrahlen* gewählt worden ist.

Dieses vorausgesetzt folgt aus den mitgetheilten Erfahrungen, daſs die Ursache der Diathermansie bis jetzt noch ganz unbekannt, die Eigenschaft selbst aber von den Körpern, denen sie zugehört, unzertrennbar ist, und daſs es zweitens nur eine einzige, von aller Diathermansie befreite Substanz giebt, nämlich das Steinsalz. Alle Farbstoffe vermindern die Diathermanie des Glases, ändern aber die Diathermansie nicht, auſser die schwarzen[1] und gewisse grüne Farbstoffe. Da diese letzteren aber dem Glase beigemischt sind, welches die wenig brechbaren Strahlen der Wärmequellen von niederer Temperatur auffängt, so müſste man sie mit Steinsalz verbinden, um zu wissen, ob sie die Ursache der Veränderung sind, die das mit ihnen verbundene Glas zeigt. Eine solche Verbindung ist aber noch nicht bewerkstelligt worden und vielleicht unmöglich. Melloni erreicht indeſs etwas Aehnliches, indem er eine Platte Steinsalz mit einer dünnen Lage Kienruſs überzieht[2], die so zubereitet einen Körper giebt, welcher Strahlen aus Quellen von niederer Temperatur in gröſserem Verhältnisse durchläſst, als Strahlen aus Quellen von höherer Temperatur, und also in Beziehung auf den Wärmedurchgang auf der nämlichen Linie steht, als diejenigen Medien, welche bloſs rothe und orangefarbene Strahlen durchlassen, in Beziehung auf Licht. Um diese Erscheinung augenfälliger zu machen, nimmt er eine Steinsalzplatte von etwa zwei bis drei Zoll Länge, theilt sie durch Querlinien in drei gleiche Theile, läſst den einen unverändert, heftet auf den andern eine Schicht eines diathermanen Körpers, z. B. ein Blättchen schwarzen oder weiſsen Glimmers, eine Lage Hausenblase, Terpentin oder eine Glasplatte, und schwärzt den dritten

---

1 Poggendorff bemerkt, daſs nach Splittgerber die das Glas schwarz färbende Substanz aus Schwefelalkalien besteht, welche aus den die angewandte Pottasche oder Soda verunreinigenden Substanzen durch zugesetzte Kohle reducirt sind und zuerst gelb, durch angewandte höhere Hitze aber schwarz färben. S. Annalen XLVII. 166.

2 Melloni erzeugt diesen Ueberzug vermittelst einer Kerzenflamme; viel leichter aber erhält man ihn durch einen angezündeten Spahn von Kienholz oder etwas Terpentinöl auf Baumwolle, die um eine Glasröhre fest gewickelt und mit Terpentinöl getränkt ist.

über einer Lampe. Nachdem alsdann die Stellungen ausgemittelt sind, in welchen die verschiedenen Wärmequellen eine gleiche Ablenkung der Nadel bewirken, läfst er die drei Abtheilungen vor der thermoelektrischen Säule vorübergehn. Die erste läfst dann stets die nämliche Menge Wärmestrahlen durchfallen, die zweite läfst eine mit der Temperatur der Wärmequelle wachsende Menge Strahlen durch, die dritte aber umgekehrt eine bei höherer Temperatur abnehmende Menge. Dieses Verhalten gleicht also auffallend dem, wonach durch eine Reihe gleich dicker weifser und gefärbter Gläser verschiedenfarbiges Licht in ungleichen Mengen dringt. Sind Steinsalzplatten so geschwärzt, dafs sie sich völlig opak zeigen, so können sie, *leuchtenden* Wärmequellen ausgesetzt, nur dunkle Strahlen durchlassen. Glas und Glimmer, beide schwarz und opak, können, *leuchtenden* Wärmequellen ausgesetzt, gleichfalls nur dunkle Strahlen durchlassen. Dennoch aber läfst eine gewöhnliche Glasplatte ungefähr die Hälfte der durch Glimmer oder schwarzes Glas gedrungenen Strahlen durch, von denen aber, die durch geschwärztes Steinsalz gegangen sind, kaum einige Hundertstel, und es giebt sonach nicht blofs verschiedene Arten mit Licht verbundener, sondern auch dunkler Wärmestrahlen. Man könnte hieraus folgern, die Schwärzung thermoskopischer Apparate verändere die Empfindlichkeit derselben, allein Melloni behauptet, durch Erfahrung gefunden zu haben, dafs eine Kienrufsschicht stets eine gleiche Menge Wärme durchlasse, von welcher Beschaffenheit auch die Wärmequellen bei gleicher Intensität übrigens seyn mögen.

328) Wie schon bemerkt, war Forbes der Erste, welcher eine wirkliche *Polarisation* der Wärmestrahlen nachwies, nachdem Berard früher ein mit den Lichtstrahlen zusammenfallendes polarisches Verhalten derselben wahrgenommen, Melloni aber eine Polarisation durch Turmalinplatten für nicht statt findend erklärt hatte. Forbes[1] machte die erste Reihe seiner Versuche im Anfange des Jahres 1835, die zweite ein

1 On the Refraction and Polarisation of Heat. Edinburgh 1835. 4. Researches on Heat. Edinb. 1836. gr. 4. Edinb. Phil Trans. XIII. Abgekürzt in Poggendorff's Ann. XXXV. 353. London and Edinb. Phil. Mag. N. XXXII. p. 134. N. XXXIII. p. 205. N. XXXIV. 284. N. XXXV. p. 366. N. LXXVIII. p. 545.

Jahr später bekannt; von beiden Abhandlungen verdient der wesentliche Inhalt hier mitgetheilt zu werden. Die von ihm angewandte thermoelektrische Säule war so fein, dafs die 30 zusammengelötheten Endenpaare nur 0,4 Quadratzoll Fläche einnahmen, die Erwärmung wurde nie weiter gebracht, als dafs die Nadel 15°, höchstens 20° Abweichung zeigte, und die Grade werden daher den Kräften proportional genommen. Um zugleich kleine Gröfsen mit Vermeidung der Parallaxe genau zu messen, wurde vermittelst eines kleinen Fernrohrs abgelesen, vor welchem eine Linse angebracht war, in deren Focus sich der bezügliche Theil der Scale befand, so dafs es möglich wurde, 0,1 eines Grades des von der Nadel durchlaufenen Bogens noch zu unterscheiden. Forbes wiederholte die meisten durch Melloni angegebenen Versuche und fand deren Bestätigung. Am auffallendsten war ihm das Verhalten des Steinsalzes, und es gelang ihm ohne Schwierigkeit, mit einem hieraus verfertigten Prisma das Maximum der Wärme im Sonnenspectrum aufzufinden. Auf gleiche Weise überzeugte er sich, dafs durch ein Prisma dieser Art auch die Strahlen aus dunklen Wärmequellen, selbst solchen, welche die Siedehitze des Wassers nicht erreichen, gebrochen werden; inzwischen ist dann ihre Dispersion so gering, dafs es höchst schwierig seyn würde, das Maximum und die Abnahme der Wärme in einem *Wärmespectrum* [1] wahrzunehmen, was auch Melloni nicht zu erreichen vermochte. Dabei drängte sich die Frage auf, ob die der Brechung unterliegenden Wärmestrahlen auch eine doppelte Brechung erleiden; aber leider fehlt dem Steinsalze diese Kraft, und Doppelspath läfst zu wenig Wärme durch, als dafs es leicht wäre, vermittelst desselben zu einem genügenden Resultate zu gelangen.

329) Nachdem Forbes bei seinen ersten Versuchsreihen unzweideutige Beweise einer wirklich statt findenden Polarisation der Wärmestrahlen erhalten und sich in der Behandlung der ausnehmend delicaten Apparate mehr geübt hatte, nahm er die untersuchten Probleme abermals vor, um wo möglich noch schärfere Resultate zu erlangen. Eine Verbesserung seines Apparates bestand darin, dafs er das Fernrohr, welches zur

1 Dieser Ausdruck für die gebrochenen dunkeln Wärmestrahlen dürfte wohl ohne Widerrede Eingang finden.

Ablesen der von der Magnetnadel durchlaufenen Grade diente und mit der angegebenen Linse versehn war, an einem Stativ befestigte, um die Lage desselben unverrückt zu erhalten. Aufserdem versah er die Oeffnung der thermoelektrischen Säule mit einem konischen Reflector von 1,75 Z. Länge und 1,75 Z. Weite seiner vordern Oeffnung, um die mehr zerstreuten Strahlen auf die vereinten Löthstellen zu lenken. Vermittelst der von Melloni angegebenen Methode gelang es ihm, durch allerdings oft wiederholte delicate Versuche eine genaue Reduction der abgelesenen Grade des Thermomultiplicators auf wahre, unter sich gleiche Grade zu reduciren, wie sie in folgender Tabelle enthalten sind:

beobachtet	reducirt	beobachtet	reducirt
2	2,1	12	13,0
4	4,2	14	15,5
6	6,3	16	17,8
8	8,6	18	20,0
10	10,8	20	22,4

Nicht minder wählte er das gleichfalls von Melloni angegebene Mittel, nicht sowohl diejenigen Grade abzulesen, auf denen die Nadel stationär blieb, als vielmehr diejenigen, auf welche sie durch den ersten Impuls getrieben wurde. Gründe hierfür sind, weil zuerst Zeit gespart wird, zweitens weil die längere Einwirkung der Wärme den Nullpunct der Säule verrückt und überhaupt ihren richtigen Gang leicht abändert, und weil endlich drittens der Einflufs der durchgelassenen Wärme oder der *secundären Wärmestrahlung*, wie man dieses nennt, dadurch vermieden wird. Feine Versuche zeigten das Verhältnifs der durch beide Arten des Messens gefundenen Gröfsen.

Grade		Intensitäten	Grade		Intensitäten
erste	stationäre		erste	stationäre	
1	1,2	1,20	12	13,20	14,40
2	2,3	2,35	14	15,30	16,90
4	4,5	4,65	16	17,40	19,35
6	6,7	7,10	18	19,45	21,75
8	8,9	9,60	20	21,50	24,30
10	11,1	12,05			

330) Wenn zwei dünne Turmalinplatten, welche parallel mit ihrer Krystallisationsaxe geschnitten sind, so auf einander gelegt werden, dafs ihre Axen parallel laufen, so lassen sie eine beträchtliche Menge Licht durch, verschlucken aber fast alles, wenn ihre Axen sich durchkreuzen. Ob diese Polarisation der Lichtstrahlen auch die Wärmestrahlen treffe, suchte schon MELLONI zu ermitteln, erhielt aber kein günstiges Resultat, sofern er keinen Unterschied in der Menge der auf die eine oder die andere Weise durchgelassenen Wärmestrahlen wahrnehmen konnte, und ebendieses war auch der Fall bei den ersten durch FORBES angestellten Versuchen; in der Folge aber, als die so leicht möglichen Beobachtungsfehler noch mehr vermieden wurden, gelang es Letzterem, allerdings einen Unterschied aufzufinden. In 7 Versuchen fielen von 100 Wärmestrahlen, welche die Turmalinplatten bei parallelen Axen von einer gemeinen Lampe ohne Schirm durchliefsen, bei durchkreuzenden Axen nur 86; 83; 86; 83; 91; 82; 94, also im Mittel 86,4 von 100 durch. Ermuthigt durch diesen günstigen Erfolg ging er auch zur Anwendung anderer, namentlich dunkler Wärmequellen über, allein es gelang ihm nicht, die Turmalinplatten anders als auf dünnes Glas geklebt anzuwenden, wodurch jedoch die meisten Wärmestrahlen am Durchgange gehindert werden, und da man aufserdem den Einflufs des einfachen Wärmedurchganges oder der Durchleitung (der secundären Strahlung), im Gegensatze der Durchstrahlung, so schwer zu vermeiden im Stande ist, so war es ihm dadurch unmöglich, bei der Anwendung dunkler, nur die Siedehitze des Wassers erreichender Wärme zu einem genügenden Resultate zu gelangen. Es glückte ihm jedoch, mit zwei Platten A und B und zwei andern E und F folgende durch *Polarisation* bewirkte Wärmeverluste bei der Anwendung der durch MELLONI gleichfalls gebrauchten Wärmequellen zu beobachten.

Wärmequellen.	Verlust durch Polarisation A und B	Verlust durch Polarisation E und F
Argand'sche Lampe . . .	—	0,16
gemeine Lampe ohne Schirm	0,14	0,11
glühendes Platin	0,15	0,12
heifses Kupfer 400° C. . .	—	0,03

331) Die von Melloni aufgefundene eigenthümliche *Diathermansie* des grünen und schwarzen Glases läfst sich in Beziehung auf das Grün (bei Schwarz ist es an sich unmöglich) nicht auf die Farbe der Lichtquelle übertragen, denn Forbes färbte die Flamme des Alkohols roth durch salpetersauren Strontian, gelb durch Kochsalz, grün durch Boraxsäure, blau mittelst Anwendung von absolutem Alkohol, und erhielt folgende durch verschiedene Schirme von 100 durchgelassene Wärmestrahlen:

Farbe der Flamme	Durchgelassene Strahlen Alaun	Glas	Steinsalz
roth	11,0	26	85
gelb	11,5	28	87
grün	11,0	26	84
blau	10,0	30	83

Die Unterschiede sind so gering, dafs sie innerhalb der Fehlergrenze liegen und man daher der Farbe der Flamme den Einflufs nicht beilegen kann, den die Färbung der Medien bewirkt, wie auch wohl zu erwarten war.

332) Auch die schwierige Aufgabe, die *Polarisation durchgehender Wärmestrahlen* auszumitteln, wufste Forbes durch eine Reihe sinnreich eingerichteter Versuche zu lösen. Hierzu wählte er Glimmerblättchen, und da die Polarisation an den Oberflächen statt findet, dickere Massen aber viele Wärme verschlucken, es daher daran liegen mufste, sehr dünne Blättchen zu erhalten, so spaltete er dieselben anfangs mit einem Messer, nachher aber fand er, dafs Glimmerplatten, schnell in ein lebhaftes Feuer gehalten, durch die Ausdehnung der zwischen den Lamellen eingeschlossenen Luft in sehr dünne Blättchen zerspalten, deren man sich zu diesen Versuchen bedienen kann. Zur gröfseren Bequemlichkeit befestigt man sie in dem geeigneten Winkel von ungefähr 34° auf einem Bretchen, noch besser in einem hohlen hölzernen Cylinder, und da man zwei Blättchen haben mufs, so kann man die Cylinder, worin sie auf die geeignete Weise befestigt sind, so einrichten, dafs der eine in den andern gesteckt und beliebig durch alle Grade des Kreises um seine Axe gedreht wird. Vorläufige Versuche er-

gaben dann, dafs mehr Wärmestrahlen durchfielen, wenn die Flächen beider Blätter einander parallel waren, als wenn sie sich durchkreuzten, die nachher erhaltenen numerischen Werthe aber und die Art der Versuche zeigt folgende Uebersicht.

Argand'sche Lampe mit Schornstein und Reflector.

	Ablenkung.	Mittel.	Verhältnifs.
Parallel . . .	15°,60		
Kreuzend . .	4,20	— 15°,67	. . . 27:100
Parallel . . .	15,75		
Kreuzend . .	4,40	— 15,85	. . . 28:100
Parallel . . .	15,95		

Argand'sche Lampe ohne Reflector.

Parallel . . .	10°,40		
Kreuzend . .	3,00	— 10°,42	. . . 29:100
Parallel . . .	10,45		
Kreuzend . .	2,95	— 10,55	. . . 28:100
Parallel	10,65		

Glühendes Platinlöckchen.

Parallel . . .	11°,90		
Kreuzend . .	3,45	— 12°,42	. . . 28:100
Parallel . . .	12,95		
Kreuzend . . .	3,70	— 12,87	. . . 29:100
Parallel	12,80		

Dunkle Hitze vom Kupfer.

Parallel . . .	10°,55		
Kreuzend . .	4,05	— 10,57	. . . 38:100
Parallel . . .	10,60		
Kreuzend . . .	3,90	— 10,55	. . . 37:100
Parallel	10,50		

Im Mittel aus einer grofsen Zahl sorgfältiger Versuche ergab sich dann, dafs von den aus verschiedenen Quellen strömenden Wärmestrahlen folgende Mengen polarisirt werden.

Durch zwei Platten, I und K genannt.

Wärmequelle	Von 100 polarisirten Strahlen
Argand'sche Lampe	72 bis 74
glühendes Platin	72
heifses Kupfer 400° C.	63
desgleichen nach dem Durchgange durch Glas	72
Quecksilber in einem Gefäfse 210° C. heifs . .	48
Gefäfs mit siedendem Wasser	44

Durch zwei Platten, G und H genannt.

Argand'sche Lampe	82
glühendes Platin	70
heifses Kupfer 400° C.	68
desgleichen nach dem Durchgange durch Glas	73
Gefäfse mit siedendem Wasser	49

Hieraus geht hervor, dafs die am stärksten wirkenden Platten G und H nicht weniger als 0,82 der aus gewissen Wärmequellen auffallenden Wärmestrahlen zu polarisiren vermögen; dafs aber die Strahlen ungleicher Wärmequellen auch in ungleicher Menge polarisirt werden, ergab sich aus vielen mannichfach abgeänderten Versuchen, die der Constatirung dieses streitigen Punctes gewidmet wurden. Uebrigens stimmt dieses mit dem Verhalten des Lichtes überein, denn so wie Strahlen aus niedrigeren Wärmequellen weniger brechbar und weniger polarisirbar sind, wird auch das weniger brechbare Licht nach Brewster weniger durch Platten, auf die es in dem gegebenen Winkel fällt, polarisirt. Dabei eignet sich Glimmer vorzugsweise zu Polarisationsversuchen, theils wegen seiner ausgezeichneten Diathermansie, theils weil er sich in so ausnehmend dünnen Platten darstellen läfst. Forbes vermochte jedoch auch eine Polarisation durch dünne Steinsalzplatten mit parallelen Oberflächen zu erhalten. Zwei Bündel, jedes aus drei Platten bestehend, also mit sechs Flächen, polarisirten ungefähr ein Siebentel der Wärmestrahlen, welche in der parallelen Lage durchgingen, wenn der Einfallswinkel derselben ungefähr 55° betrug; waren aber alle 6 Platten in ein Bündel vereint und wurde dann zugleich eins der Glimmerblättchen mit angewandt, so wurde fast die Hälfte der Strahlen polarisirt.

333) Schon bei den zuerst bekannt gemachten Versuchsreihen bemühte sich Forbes, eine Polarisation der Wärmestrahlen durch *Reflexion* aufzufinden, was aufser andern Gründen auch deswegen sehr schwer ist, weil dabei die thermoelektrische Säule bewegt werden mufs; es gelang ihm jedoch, zu unzweideutigen Resultaten zu gelangen. Hierdurch ermuthigt setzte er später die Versuche fort und bestimmte zuerst das Reflexionsvermögen einiger Körper, wobei er für einen Einfallswinkel von 45° folgende Reihe, vom stärksten anfangend, erhielt: polirtes Spiegelmetall; mit der Hand gespaltene dünne Glimmerblättchen; durch Hitze gespaltene Glimmerblättchen; dicke Glimmerblätter; dünn überfirnifstes Steinsalz; polirtes Steinsalz; Glas; Alaun. Letztere drei Substanzen, an Diathermansie so verschieden, hatten ein fast gleiches Reflexionsvermögen für Strahlen von erhitztem Kupfer; auch zeigten sie sich bei den von glühendem Platin ausgehenden Wärmestrahlen wenig verschieden, aufser dafs Glas unverkennbar über Alaun und selbst über Steinsalz zu stehen kam. Im Allgemeinen ist die Reflexion von metallischen Oberflächen ungefähr zwei- bis dreimal stärker, als von Glimmerblättchen, die durch Hitze gespalten sind, Glas, Alaun und Steinsalz reflectiren aber nur etwa den dritten oder vierten Theil so viel, als solche Glimmerblättchen. Hiernach eignen sich die letzteren vorzugsweise zu Versuchen dieser Art, und es ist leicht zu ermessen, warum die Versuche von Powell[1] und selbst die von Nobili[2] mit dem Thermomultiplicator mifslangen, weil Glas beinahe der schlechteste Reflector ist, aufserdem aber wenige Strahlen durchläfst, viele dagegen absorbirt, wodurch der Einflufs der durch Ausstrahlung mitgetheilten Wärme gesteigert wird.

334) Die wesentlichen Theile des Apparates[3], mit Weglassung mancher Hülfstheile, namentlich solcher, welche dazu dienten, jeden anderweitigen Einflufs der Wärmequelle auf den Thermomultiplicator zu entfernen, sind in der Zeichnung dargestellt, wobei nur zu bemerken ist, dafs sich die reflectirenden Glimmerblättchen AB und CD auf massiven hölzernen Unterlagen in hohlen hölzernen Kästchen befinden. Die Fläche AB

Fig. 61.

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. S. N. VI. p. 297. N. X. p. 206.
2 Bibliothèque universelle. 1834. Sept.
3 Vergl. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 349.

macht mit dem Horizonte einen Winkel von 56°, so dafs die in einem Winkel von 34° auffallenden Strahlen in verticaler Richtung reflectirt werden. Die Axe des Thermomultiplicators wird dann in die Richtung der Linie FP gebracht, damit die Strahlen gerade auffallen, das untere Bret TU ist aber um den Punct T' in horizontaler Ebene drehbar, um die reflectirenden Ebenen einander parallel oder in jedem Winkel gegen einander geneigt zu stellen. Es ergab sich dann, dafs dunkle Wärmestrahlen vollständiger polarisirt werden, als die von einer Argand'schen Lampe, während die von einem glühenden Platindrahte ausgehenden beide übertreffen. Bei einem der Versuche bestanden die reflectirenden Platten aus 10 oder 12 mit dem Messer gespaltenen Glimmerblättchen und die Reflexionsebene war lothrecht auf den Hauptschnitt des Glimmers. Es wurden dann von 100 Strahlen polarisirt:

Argand'sche Lampe ohne Reflector	55,
Kupfer bis 400° C. erhitzt	61,
glühender Platindraht	65.

Forbes findet es wahrscheinlich, dafs der Einfallswinkel zu klein für die brechbareren Strahlen der Argand'schen Lampe und zu grofs für die minder brechbaren des erhitzten Kupfers, dagegen am geeignetsten für das heifse Kupfer war, woraus die Ungleichheit der Wirkung erklärbar seyn würde.

335) Aus den bisher erörterten Erscheinungen geht die Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichts und der Wärme unverkennbar hervor, und es mufste sich daher die Frage aufdringen, ob die Wärmestrahlen ebenso, wie die Lichtstrahlen, einer doppelten Brechung unterliegen, mithin eine sogenannte *Depolarisation* der ersteren wie der letzteren statt findet. Um die vorliegende Aufgabe näher zu bestimmen, ist Folgendes zu bemerken. Wird das Licht durch Reflexion oder Refraction polarisirt, und sind dann beide Platten, die polarisirende und analysirende, der gewöhnlichen Polarisationsmaschinen in einem rechten Winkel gegen einander gerichtet, so wird das Licht gänzlich verschluckt; man sieht ein ganz dunkles oder mindestens sehr dunkles Feld. Wird in dieser Lage ein Glimmerblättchen zwischen die beiden Platten lothrecht auf den polarisirten Strahl gebracht, so verschwindet das Licht nicht mehr, aufser in den beiden Lagen, wenn der Hauptschnitt des

Glimmerblättchens parallel zur Polarisationsebene oder lothrecht auf dieselbe ist; in allen andern Lagen gelangt Licht zum Auge. Dieses gilt für alle Dicken des Glimmerblättchens, so lange Licht von verschiedener Brechbarkeit verbunden ist; vollkommen homogenes Licht würde bei gewissen Dicken in jeder Lage zum Auge gelangen, d. h. es würde nicht depolarisirt werden. Um zu versuchen, ob ein gleiches Verhalten bei den Wärmestrahlen statt findet, müfste man ein Glimmerblättchen zwischen die polarisirende und analysirende Platte bringen, deren Einfallsebenen einen rechten Winkel mit einander bilden, und untersuchen, ob ein Unterschied des Erwärmens statt findet, wenn der Hauptschnitt des Glimmerblättchens parallel zur Polarisationsebene ist oder einen Winkel von 45° damit bildet. Bei der Anwendung zweier Glimmerbündel, E und F genannt, von der bereits beschriebenen Art, deren Ebenen rechtwinklig auf einander gerichtet waren, gaben die Strahlen des heifsen Kupfers, wenn der Hauptschnitt des zwischengebrachten Glimmerblättchens mit der Polarisationsebene zusammenfiel oder einen Winkel von 45° damit bildete (wobei im ersten Falle die Depolarisation ein Minimum, im zweiten ein Maximum war), folgende Verhältnisse:

100 : 120; 100 : 110; 100 : 122; 100 : 125.

Die bereits genannten Polarisationsplatten C und D gaben:

100 : 118; 100 : 120; 100 : 120; 100 : 113.

Glühendes Platin giebt, wie bemerkt, vorzugsweise polarisirbare Strahlen, die dann auf gleiche Weise stark depolarisirt werden. Hiermit zeigten sich unter den angegebenen Bedingungen folgende Verhältnisse:

100 : 126; 100 : 138; 100 : 138.

Inzwischen ergab sich aus unzweideutigen Erscheinungen, insbesondere aus der momentan erfolgenden Bewegung der Galvanometernadel bei der Beobachtung derselben durch das nach einer verbesserten Art montirte Fernrohr, wenn das in den polarisirten Strahl gebrachte Glimmerblättchen um 45° gedreht wurde, dafs selbst Wärmestrahlen von geringer Temperatur depolarisirt wurden, ohne dafs die gleichzeitig vorhandene Lichtmenge irgend einen Einflufs äufserte. Eine Argand'sche Lampe mit Glasschornstein wurde durch rothglühendes, also nicht eigentlich leuchtendes, Platin übertroffen, die polarisirten Strahlen

des heifsen Kupfers wurden depolarisirt und ebenso auch diejenigen, welche von einem eisernen Gefäfse mit Quecksilber bis 260° C. erhitzt ausströmten, wie nicht minder unverkennbar, wenn die Hitze des letzteren bis 105° C. herabging, worauf der Versuch mit siedendem Wasser angestellt wurde und gleichfalls gelang. Von 157 Versuchen, deren 92 mit unsichtbaren Wärmestrahlen angestellt wurden, gab nur einer kein Resultat und einer ein negatives. Andere depolarisirende Körper zu wählen war allerdings von grofsem Interesse, allein Selenit, welcher gleichfalls in dünne Blätter spaltbar ist, verschluckt so viele Wärme, dafs sich nur bei der Anwendung von glühendem Platin schwache Wirkungen zeigten; unzweideutig dagegen war die depolarisirende Eigenschaft bei Turmalinblattchen. Hieraus geht also hervor, dafs die Wärmestrahlen einer *doppelten Brechung* fähig sind und dafs die zwei Bündel in entgegengesetzten Ebenen polarisirt werden.

336) Durch das Gelingen dieser Versuche ermuthigt suchte Forbes auch das quantitative Verhältnifs der beiden, durch doppelte Brechung erhaltenen Wärmestrahlenbündel auszumiteln, was im Grunde leichter ist und schärfere Messung gestattet, als bei den Lichtstrahlen. In Beziehung auf das Licht inden bekanntlich folgende Gesetze statt. Wenn die beiden latten des Polarisationsapparats, die polarisirende und die anaysirende, beide in der Polarisationsebene liegend einander paallel sind, so gelangt alles polarisirte Licht zum Auge, sind e aber um einen rechten Winkel gegen einander gerichtet lurchkreuzen sie sich), so verschwindet dasselbe. Bringt man sdann in den polarisirten Strahl eine Krystallplatte, deren xe einen Winkel von 45° mit der Polarisationsebene bildet, geht im ersten Falle, wenn die beiden polarisirenden Plat- einander parallel sind, ein Theil des Lichtes verloren, im eiten aber, wenn beide Platten sich kreuzen, wird ein gleier Theil gewonnen, beide Male durch Depolarisation. Beide ngen des Lichtes sind einander gleich und die Strahlenidel correspondiren dem ordinären und extraordinären Bilde einem analysirenden Prisma von Doppelspath. Nennen wir er beide Intensitäten O^2 und E^2, die ganze Menge des posirten Lichtes aber oder den Werth von O^2, wenn beide tten einander parallel sind, F^2, in welchem Falle dann

$E^2 = 0$ ist, so muſs stets bei jeder Lage des depolarisirenden Krystalls

$$O^2 + E^2 = F^2; \quad E^2 = F^2 - O^2; \quad O^2 = F^2 - E^2$$

seyn, indem durch Depolarisation für den einen gewonnen wird, was für den andern verloren geht. Eine zahlreiche Versuchsreihe zeigte, daſs ebendieses bei den Wärmestrahlen statt findet, wie folgende Uebersicht der bedeutendsten und genauesten unter ihnen angiebt, worin E^2 die Zunahme des auſserordentlichen, $F^2 - O$ die Abnahme des ordentlichen Strahlenbündels, beides durch die depolarisirende Wirkung der in den polarisirten Strahl gebrachten Krystallplatte bezeichnen.

Wärmequelle	Glimmerplatte	E^2 Zahl der Vergleichungen	E^2 Grade des Thermomult.	$F^2 - O^2$ Zahl der Vergleichungen	$F^2 - O^2$ Grade des Thermomult.
Quecks. unter 260° C.	Nr. 2	5	0°,28	6	0°,26
Kupfer, ungefähr 400° C.	Nr. 1	4	0°,40	4	0°,32
	Nr. 1	4	0,35	4	0,55
	Nr. 1	4	0,51	4	0,52
	Nr. 1	4	0,59	5	0,78
	Nr. 2	4	0,44	5	0,40
	Nr. 2	7	0,75	7	0,70
Mittel	—	27	0,517	29	0,545
glühendes Platin	Nr. 1	3	2°,12	3	2°,14
	Nr. 1	4	2,22	4	2,52
	Nr. 1	4	2,01	5	2,13
	Nr. 2	6	2,38	6	2,50
Mittel	—	17	2,18	18	2,32
Argand'sche Lampe mit Schornstein	Nr. 1	4	0°,97	4	1°,00
	Nr. 2	4	1,90	4	1,74
Mittel	—	8	1,43	8	1,37

Diese Resultate stimmen so genau überein, als man von Versuchen dieser Art erwarten darf, und zeigen, daſs zwischen den ordinären und extraordinären Bündeln doppelt gebrochener Wärmestrahlen ein gleiches Verhältniſs obwaltet, als bei den Lichtstrahlen unter gleichen Bedingungen.

Für die Lichtstrahlen giebt Fresnel folgende Formeln an:

$$O^2 = F^2 \left\{ 1 - \text{Sin.}^2 2i \,\text{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right) \right\},$$

$$E^2 = F^2 \left\{ \text{Sin.}^2 2i \,\text{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right) \right\},$$

worin i den Winkel zwischen der Polarisationsebene und der Axe des in den Strahl gebrachten depolarisirenden Krystallblättchens, o — e den Unterschied der Verzögerungen des ordentlichen und aufserordentlichen Strahlenbündels im depolarisirenden Krystalle und λ die Länge einer Undulation bezeichnen.

337) Durch die Wichtigkeit der Resultate, wozu diese Betrachtungen führen, wurde FORBES bewogen, diese Aufgabe in einer dritten Abhandlung[1] noch weiter zu verfolgen. Kennt man nämlich die durch eine Platte von gegebener Dicke depolarisirte Menge von Licht oder bei statt findender unverkennbarer Analogie die Menge der Wärme und zugleich die Länge der Wärmewellen, so läfst sich daraus die Verzögerung oder die Stärke der Doppelbrechung finden, umgekehrt aber, wenn die letztere bekannt ist, vermag man die Länge der Wärmewellen zu erhalten. Letzteres Problem ist bei weitem das wichtigere, und es war daher der Mühe werth, dasselbe unter der Voraussetzung zu lösen, dafs die Verzögerung der Wärmestrahlen der für die Lichtstrahlen aufgefundenen gleich sey. Dabei ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs die Depolarisation bei gleicher Wellenlänge gleich seyn kann bei verschiedener Dicke der Glimmerblättchen und verschiedener Verzögerung, und zweitens, dafs alle Wärmequellen heterogene Strahlen liefern, deren jeder seine eigene Wellenlänge haben kann, weswegen also keine vollkommene Uebereinstimmung der durch Beobachtung erhaltenen Resultate mit der Formel zu erwarten steht, in welcher die Gleichheit der Wellenlänge λ angenommen wird.

338) Dieses vorausgesetzt konnte die Gröfse o — e durch Aufsuchung derjenigen Farbe aus der Reihe der Newton'schen Farben-

---

1 Edinb. Philos. Trans. T. XIV., daraus in Poggendorff's Ann. V. 75. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXX. p. 97. N. LXXXI. 180.

ordnungen aufgefunden werden, welche die Blättchen zeigten, wenn sie in den polarisirten Lichtstrahl gebracht wurden, wobei dann die Verzögerung dem doppelten Abstande zweier Glasplatten von einander gleich ist, zwischen denen die zugehörige Newton'sche Farbe entsteht. Zeigte z. B. ein Blättchen im polarisirten Lichtstrahle das Roth erster Ordnung der Newton'schen Tafel, so wäre die Verzögerung $o - e = 0{,}00002$ Zoll. Forbes untersuchte 5 Glimmerblättchen auf die angegebene Weise, und fand:

	Farbe	Verzögerung in Millionteln eines Zolles
Nr. 1.	Weiſs ins Gelbliche fallend	12
Nr. 2.	Tief blau	28
Nr. 3.	Purpurblau	43
Nr. 4.	Zwischen Roth und Orange	36
Nr. 5.	Nelkenroth	80

Die hieraus hervorgehenden relativen Dicken[1] wurden, mit Ausnahme der ersten, annähernd durch Messungen mit einem von Troughton verfertigten Tasterzirkel bestätigt:

Nr. 1	zeigte	eine	Dicke	von	0,0026	Zoll
Nr. 2	—	—	—	—	0,0044	—
Nr. 3	—	—	—	—	0,0074	—
Nr. 4	—	—	—	—	0,0060	—
Nr. 5	—	—	—	—	0,0157	—

1 Newton's Messungen sind ausnehmend genau und obendrein durch wiederholte Prufungen in neuester Zeit bestätigt worden. Man könnte also durch dieses Mittel die Dicke der Blätter sehr genau finden, wenn nur nicht die Schwierigkeit im Wege stände, die eigentlichen Farben, ob sie der ersten oder einer der folgenden Ordnungen zugehören, mit genügender Sicherheit zu bestimmen, wozu ein auf den Unterschied der Farben sehr geübtes Auge gehört. Maler können dieses am besten, wovon mich der hier verstorbene Roux überzeugte. Es giebt aber ein sehr gutes Hulfsmittel der Controle. Hat man zwei Farben, etwa der ersten Ordnung, gefunden, so darf man nur die Summe ihrer Dicken nehmen und nachsehen, welcher Farbe einer weiteren Ordnung diese zugehört, sie dann auf einander legen und versuchen, ob sie die dieser Dicke zugehörige Farbe geben, in welchem Falle beide Bestimmungen höchst wahrscheinlich richtig sind.

Forbes wählte für die in den polarisirten Strahl gebrachten Glimmerblättchen stets die Lage, dafs sie mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45° bildeten, mithin verwandelt sich die von Fresnel angegebene Formel

$$E^2 = F^2 \left[\text{Sin.}^2 2i \ \text{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right) \right]$$

n die einfachere

$$E^2 = F^2 \ \text{Sin.}^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right)$$

nd diesemnach ist

$$E^2 = F^2 \text{Sin.}^2 \ 180^\circ \left(\frac{o-e}{\lambda} \right),$$

lso

$$\frac{E^2}{F^2} = \text{Sin.}^2 180^\circ \left(\frac{o-e}{\lambda} \right), \text{ und } O^2 = F^2 - E^2.$$

orbes stellte zur Auffindung von $\frac{E^2}{F^2}$ verschiedene Versuche , wobei er als Wärmequelle eine Argand'sche Lampe und ifses Kupfer[1] in Anwendung brachte. Da ferner die Glimmerblättchen Nr. 3 und 4 nahe dieselbe Dicke hatten, mithin t auf gleiche Weise depolarisirten, so wurde die vereinte ke von Nr. 2 und 3 als Mittelglied zwischen Nr. 3 und 5 geschoben. Die polarisirende und die analysirende Platte bilen die durch I und K bezeichneten Bündel von Glimmerblättn. Auf diese Weise wurden die in folgenden Tabellen zumengestellten Gröfsen gefunden.

---

1 Melloni giebt an, bis etwa 390° oder 400° C. erhitztes Kupfer aucht zu haben; Forbes, welcher sich der nämlichen Wärmequelle esen wollte, nennt diese später meistens Messing von etwa 700° F. ,11 C.). Weil die Wärmequellen, wie beide Gelehrte sie in Anlung brachten, identisch seyn sollen, die Engländer aber zwischen ing und Kupfer, wenn es darauf nicht wesentlich ankommt, nicht s zu unterscheiden pflegen, so habe ich die Bezeichnung Melloni's halten.

1) Argand'sche Lampe; Glimmerblättchen Nr. 3.

Neigung der Platte K gegen Platte I	Neigung des Glimmerblättchens	Grade der Magnetnadel	Polarisation F^2	Depolarisation E^2
0°	0°	11°,90	8°,45	
90	0	3,45	....	+ 5°,35
90	45	8,80		
0	45	6,75	....	— 5,35
0	0	12,10		
90	0	3,75	8,35	
90	45	8,80	....	+ 5,05
0	45	6,70	....	— 5,35
0	0	12,05	8,35	
90	0	3,70		
		Mittel	8,38	5,27

2) Heifses Kupfer; Glimmerblättchen Nr. 3.

0	0	5°,25	3°,25[1]	
90	0	2,00	....	+ 3°,75
90	45	5,75		
0	45	2,15	....	— 3,80
0	0	5,95		
90	0	1,95	4,00	
90	45	5,75	....	+ 3,80
0	45	2,60	....	— 3,30
0	0	5,90		
90	0	1,95	3,95	
90	45	5,65	....	+ 3,70
0	45	2,30	....	— 3,50
0	0	5,80		
90	0	1,80	4,00	
		Mittel	3,98	3,64

1 Die Lampe unter dem Kupfer war eben angezündet, und diese Gröfse scheint daher zu klein, weswegen sie im Mittel weggelassen ist.

339) Werden die hier gefundenen mittleren Werthe für die Gleichung

$$\frac{E^2}{F^2} = \text{Sin.}^2\, 180^\circ \frac{o - e}{\lambda}$$

benutzt, und nimmt man also:

$$\frac{o - e}{\lambda} = \frac{\text{Arc.}\left(\text{Sin.} \sqrt{\frac{E^2}{F^2}}\right)}{180^\circ},$$

wo die Wurzelgröſse ein doppeltes Zeichen erhält, so geschieht der Gleichung Genüge, wenn $\frac{o - e}{\lambda}$ gleich ist einem Bruche a oder $1 - a$; $1 + a$ oder $2 - a$; $2 + a$ oder $3 - a$; $3 + a$ u. s. w. Die mitgetheilte Tabelle giebt bei Anwendung der Argand'schen Lampe

$$\frac{E^2}{F^2} = \frac{5{,}27}{8{,}38} = 0{,}629;\ \sqrt{\frac{E^2}{F^2}} = \pm\, 0{,}793,$$

also

$$\frac{o - e}{\lambda} = 0{,}29 \text{ oder } 0{,}71 \text{ oder } 1{,}29 \text{ oder } 1{,}71 \text{ u. s. w.}$$

für das heiſse Kupfer war

$$\frac{E^2}{F^2} = \frac{3{,}64}{3{,}98} = 0{,}915;\ \sqrt{\frac{E^2}{F^2}} = \pm\, 0{,}957,$$

so

$$\frac{o - e}{\lambda} = 0{,}41 \text{ oder } 0{,}59 \text{ oder } 1{,}41 \text{ oder } 1{,}59 \text{ u. s. w.}$$

r wahre Werth von $\frac{o - e}{\lambda}$ muſs aber der seyn, welcher bei Anwendung mehrerer Platten gleichförmig mit ihrer Dicke chst. Die folgende Tabelle enthält die mit Platten von un- cher Dicke gefundenen Gröſsen.

1) Argand'sche Lampe.

Depolarisirte Platte	$\frac{E^2}{F^2}$	Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$.
Nr. 1.	$\frac{2^\circ,15}{7,38} = 0,291$	0,18; 0,82; 1,18 ....
Nr. 1.	$\frac{1,91}{6,67} = 0,286$	
Nr. 2.	$\frac{5,65}{8,53} = 0,662$	0,30; 0,70; 1,30 ....
Nr. 3.	$\frac{5,27}{8,38} = 0,629$	0,29; 0,71; 1,29 ....
Nr. 2 und 3.	$\frac{2,07}{5,55} = 0,373$	0,21; 0,79; 1,21 ....
Nr. 5.	$\frac{1,31}{4,38} = 0,299$	0,185; 0,815; 1,185....
Nr. 5.	$\frac{1,44}{4,83} = 0,298$	

2) Glühendes Platin.

Nr. 1.	$\frac{2^\circ,00}{7,60} = 0,264$	0,17; 0,83; 1,17....
Nr. 1.	$\frac{1,90}{7,68} = 0,248$	0,165; 0,835; 1,165....
Nr. 2.	$\frac{4,66}{7,31} = 0,638$	0,30; 0,70; 1,30....
Nr. 3.	$\frac{5,02}{6,70} = 0,749$	0,335; 0,665; 1,335....
Nr. 4.	$\frac{5,63}{7,08} = 0,795$	0,35; 0,65; 1,35....
Nr. 2 und 3.	$\frac{1,48}{4,66} = 0,318$	0,19; 0,81; 1,19....
Nr. 5.	$\frac{1,35}{6,36} = 0,212$	0,15; 0,85; 1,15....

3) Heifses Kupfer.

Nr. 1.	$\frac{1,94}{7,35} = 0,264$	0,17; 0,83; 1,17....
Nr. 2.	$\frac{3,17}{4,18} = 0,764$	0,34; 0,66; 1,34....
Nr. 3.	$\frac{3,64}{3,98} = 0,915$	0,41; 0,59; 1,41....
Nr. 2 und 3.	$\frac{1,01}{3,38} = 0,299$	0,185; 0,815; 1,185....
Nr. 5.	$\frac{0,62}{4,89} = 0,127$	0,115; 0,885; 1,115....

340) Forbes nimmt für jede Wärmequelle die Dicke der Blättchen zu Abscissen, setzt darauf rechtwinklig die zugehörigen Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$ als Ordinaten, und zieht dann eine gerade Linie, welche die Endpuncte einer der drei zu jeder Abscisse gehörenden Ordinaten schneidet oder ihnen am nächsten kommt, findet aber, dafs die auf diese Weise für die drei Wärmequellen erhaltenen Interpolationslinien, welche die der Dicke der Platten proportionalen Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$ darstellen würden, gleiche Winkel mit der Abscissenlinie bilden. Hieraus schliefst er, dafs man niemals hoffen dürfe, auf diesem Wege die ungleichen Wellenlängen dieser Wärmequellen zu bestimmen, da λ entweder sehr wenig oder beständig proportional nit der Veränderung von $o-e$ sich verändert. Alle drei Värmequellen geben sehr nahe denselben Werth für $\frac{o-e}{\lambda}$, nämch 1,4 für ein 0,02 Zoll und 0,07 für ein 0,001 Zoll dickes limmerblättchen, wogegen das verschiedenfarbige Licht merkch verschiedene Werthe giebt. Vergleichen wir beide mit nander, so ist die Summe der oben angegebenen Verzögengen in den fünf Glimmerblättchen in Millionsteln eines Zolles :12 + 28 + 43 + 36 + 80 = 199, also 0,000199 Zoll, die umme der Dicken dieser Blättchen = 0,0361 Zoll, folglich ist r mittlere Werth der Verzögerung $o-e$ für eine Glimmerke von 0,001 Zoll $= \frac{0,000199 \times 0,001}{0,0361} = 0,0000055$. Es

ist aber λ für das äufserste Roth $= 0{,}0000266$ und für das äufserste Violett $= 0{,}0000167$, mithin sind die Werthe von $\frac{o-e}{\lambda}$ für ein Glimmerblättchen von 0,001 Zoll Dicke

beim äufsersten rothen Lichte $= \frac{55}{266} = 0{,}207$,

beim äufsersten violetten Lichte $= \frac{55}{167} = 0{,}329$,

bei den Wärmestrahlen — — — $= 0{,}07$.

Unter der Voraussetzung also, dafs die Verzögerung $o-e$ für alle Wellenlängen sowohl beim Lichte als auch bei der Wärme gleich sey, ergiebt sich hieraus der Werth von λ oder die *Länge der Wärmewellen.* Es ist nämlich $\frac{o-e}{\lambda} = 0{,}07$, und wenn also $o - e = 0{,}0000055$ angenommen wird, so ist

$$\lambda = \frac{o-e}{0{,}07} = \frac{0{,}00055}{7} = 0{,}000079 \text{ Zoll},$$

was ungefähr dreimal so lang, als eine Welle des rothen Lichtes, und ungefähr $4\frac{1}{2}$mal so lang, als die des violetten Lichtes ist. Dieses Resultat würde das nämliche bleiben, wenn in dem Verhältnifs $\frac{o-e}{\lambda}$ die Verzögerung $o - e$ veränderlich wäre und nicht bleibend, wie angenommen worden ist. Wäre aber nicht λ gröfser, sondern $o-e$ kleiner bei der Wärme als beim Lichte, so müfste die Doppelbrechung schwächer seyn, also eine gröfsere Dicke des Glimmerblättchens erfordert werden, um einen gegebenen Effect hervorzubringen.

Wir haben diese gehaltreichen Untersuchungen in derjenigen Ausführlichkeit mitgetheilt, welche die Wichtigkeit derselben erfordert, besonders wenn man berücksichtigt, dafs hiermit ein Weg betreten worden ist, welcher eine endliche genügende Aufklärung der bisher so dunklen Wärmelehre hoffen läfst. Minder nothwendig scheint uns eine gleiche Ausführlichkeit in der Mittheilung der fortgesetzten Untersuchungen des ebenso thätigen als scharfsinnigen englischen Physikers zu seyn, und es möge daher eine kurze Angabe der wesentlichsten aufgefundenen Resultate genügen.

341) Eine zu den wichtigsten gehörende Reihe von Versuchen war der Aufgabe gewidmet, die *Brechungsverhält-*

nisse ungleicher Wärmestrahlen aufzufinden, wozu aus angegebenen Gründen Prismen aus Steinsalz sich vorzugsweise eignen. Wie oben (§. 318) erwähnt wurde, versuchte bereits Melloni dieses Problem mittelst eines Thermomultiplicators zu lösen, welcher aus einer einzigen Reihe in verticaler Linie über einander liegender, thermoelektrischer Elemente bestand, ohne jedoch hiermit zum gewünschten Ziele zu gelangen. Forbes verwarf diesen Apparat und bediente sich eines andern, welcher so eingerichtet war, dafs die Brechungswinkel aus den Winkeln bestimmt wurden, bei denen die Brechung in Zurückstrahlung übergeht. Welche Vorrichtung die bessere sey, dürfte wohl erst durch fortgesetzte Prüfungen zu ermitteln seyn; vor der Hand scheint es, als habe der französische Gelehrte nicht gleiche Beharrlichkeit bei den allerdings sehr feinen Versuchen bewiesen, als der englische, dessen erlangte Resultate übrigens keineswegs vollkommen befriedigen. Inzwischen sind die Folgerungen, die er aus allen seinen Untersuchungen ableitet, für die Wärmelehre von höchster Wichtigkeit[1]. Hiernach ist die mittlere Brechbarkeit der Strahlen verschiedener Wärmequellen sehr wenig, bei den Versuchen kaum oder gar nicht wahrnehmbar, verschieden, und beträgt beim Steinsalz 1,51 bis 1,54, also nur wenig verschieden von der des Lichts, welche beim Steinsalz für die äufsersten Strahlen zu 1,54 und 1,57 angenommen wird. Eingeschaltete Substanzen wirken dagegen desto stärker und dienen nach den bis jetzt bekannten Versuchen im Allgemeinen dazu, die Brechbarkeit zu vergröfsern. Zugleich scheinen die dunklen Wärmestrahlen homogener zu seyn, als die leuchtenden. Aus der Gesammtheit seiner Untersuchungen entnimmt Forbes einige sehr wichtige Folgerungen: 1) Die Ungleichheit der Polarisirbarkeit der Wärmestrahlen, wie sie bei den Lichtstrahlen nicht angetroffen wird, neben dem geringen Unterschiede ihrer Brechbarkeit, macht es höchst wahrscheinlich, dafs für die Wärme eine in dieser Beziehung andere mechanische Theorie aufgesucht werden müsse, als für das Licht. 2) Ebendieses folgt aus den Erscheinungen der Depolarisation, welche denen des Lichts zwar dem Wesen nach ähnlich sind, numerisch aber bedeutend von ihnen abweichen. In dieser Beziehung mufs nach den eben

[1] ...dorff's Ann. XLV. 442.

mitgetheilten Resultaten angenommen werden, entweder dafs die Wärmewellen mehrmal länger sind, als die des Lichtes, oder dafs die Geschwindigkeit der ordentlichen und aufserordentlichen Strahlen in doppelt brechenden Krystallen gänzlich von der des Lichtes verschieden sey, oder endlich dafs beides zugleich statt finde. Forbes giebt der zweiten dieser Hypothesen den Vorzug, da die Versuche über die Brechungsverhältnisse zu zeigen scheinen, dafs die mittlere Länge der Wärmewellen von der Länge der Lichtwellen nicht bedeutend abweichen könne. Es scheint dieses auch daraus hervorzugehn, dafs die Gleichheit der Depolarisation und der Brechbarkeit der Strahlen aus verschiedenen Wärmequellen höchst unwahrscheinlich würde, wenn die Wellenlänge in diesen Fällen bedeutend verschieden wäre.

342) Wie oben (§. 319) erwähnt wurde, fand Melloni die Polarisation der Wärmestrahlen durch Turmalinplatten anfangs nicht; als dieses aber durch Forbes in so vollendeter Weise geschehn war, nahm er in Verbindung mit Biot, welcher einen so bedeutenden Antheil an seinen früheren Versuchen hatte, das Problem wieder auf und gelangte zu einer sehr vollständigen Lösung desselben[1]. Um die Messungen möglichst zu verfeinern, legte er unter die mit der Kreistheilung versehene Scheibe der nicht absolut astatischen Doppelnadel eine Kupferscheibe, welche die Oscillationen derselben verminderte und das schnellere Einstellen auf 0 beförderte, aufserdem aber bedeckte er die thermoelektrische Säule mit einem umgekehrten, auf Baumwolle ruhenden Kasten, weil die Luftströmungen einen merkbaren Einflufs auf sie äufserten. Eine Oeffnung, worin Blendungen verschiedener Gröfse eingesetzt wurden, verstattete den Wärmestrahlen den Zugang zur Säule, während die Luft im Kasten unbewegt blieb und also gleichmäfsig auf beide Enden der Säule wirkte. Zum Ueberflufs bestätigte er aufserdem vorläufig den durch Becquerel[2] aufgefundenen und daher früher auch von ihm als richtig angenommenen Satz,

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 1. XL. 18. 257. Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 375. T. LXV. p. 5. Ueber die Einrichtung der Versuche mit Turmalinplatten vergl. Bibl. univ. 1835. p. 367. L'Institut 1835. N. 142. Poggendorff's Ann. XXXVII. 218. 494.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXI. p. 375. Poggendorff's Ann. IX. 345.

dafs die Ablenkungen der Nadel den Wärmegraden proportional sind, durch eigene Versuche, die durch Vergleichung der thermoelektrischen Säule mit einem Luftthermometer zeigten, dafs jener Satz für alle Arten der Wärmeerregung, also auch für strahlende Wärme richtig sey. Uebrigens dienten ihm diesesmal die ersten, durch den anfänglichen Einflufs der Wärme erzeugten Ablenkungen der Nadel, die er durch den Ausdruck *Impulsionsbogen* bezeichnet, als Mafs der Wärme, weil sie in etwa 10 bis 12 Secunden erfolgen, statt dafs der stationäre Stillstand der Nadel 90 bis 100 Secunden erfordert und während dieser längeren Zeit der Zustand der Wärmequelle sich ändern kann. Endlich suchte er die Schwierigkeiten, welche die Turmaline erzeugen, indem sie so viele Wärmestrahlen auffangen, dadurch selbst erwärmt werden und daher der Saule und Wärmequelle sehr nahe gerückt werden müfsten, um eine genügende Menge Wärmestrahlen durchzulassen, dann aber von der aufgenommenen Wärme an die Säule abgeben und auf diese Weise die Resultate fehlerhaft machen könnten, dadurch zu umgehen, dafs er die Wärmestrahlen durch einen Reflector parallel machte, sie dann durch eine Steinsalzlinse concentrirte, in deren Brennpuncte sich das Glimmerblättchen befand, die von hier an divergirenden Strahlen abermals durch eine Steinsalzlinse von kürzerer Brennweite parallel machte und so zum Thermomultiplicator leitete. Die Glimmerblättchen wurden nicht genau in den gemeinschaftlichen Brennpunct beider Linsen, sondern der Fläche der zweiten Linse etwas näher gebracht, um die aus ihnen selbst in Folge ihrer Erwärmung ausgehenden secundären Wärmestrahlen divergirend und somit für die Messung unschädlich zu machen. Die Zweckmäfsigkeit dieser Vorrichtung ergab sich, wenn die Glimmerblättchen geschwärzt, dadurch die primitiven Strahlen aufgehoben, die secundären aber verstärkt wurden und dennoch die Nadel nicht afficirten. Die erste Linse hatte 2,5 Z. Durchmesser und 3 Z. Brennweite, die zweite nur 14 Lin. Durchmesser. Die Turmalinplatten waren in zwei Diaphragmen von Kork gefafst und in einer Büchse befestigt, vermittelst deren sich die eine herumdrehen und in diejenige Richtung der Hauptaxen beider bringen liefs, die man verlangte, wozu eine Bezeichnung der Richtung ihrer Hauptaxen auf der Aufsenseite der Büchse diente.

343) Melloni benutzte neun Paare von Turmalinplatten, die das Licht fast vollständig polarisirten, d. h. sämmtlich durchliefsen, wenn ihre Axen parallel waren, und fast gänzlich absorbirten, wenn diese sich durchkreuzten. Folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Resultate, worin die letzte Columne den Polarisationsindex in Hunderteln der beim Parallelismus der Axen durchgelassenen Wärmemengen angiebt. Als Wärmequelle diente die früher gebrauchte gemeine (Locatelli'sche) Lampe.

Nr.	Farbe der Turmalinblättchen	Wärmedurchlafs parallele Axen Bogen	Kräfte	rechtwinklige Axen Bogen	Kräfte	Polarisation
1	dunkelgrün	30°,56	27,50	29°,78	26,48	3,71
2	bläulichgrün . . .	29,81	26,51	28,22	24,60	7,20
3	blaugrün	32,35	29,40	30,11	26,90	8,50
4	gelblichgrün . . .	31,42	28,51	29,32	25,89	9,19
5	gelblichgrün . . .	33,23	30,18	30,01	26,77	11,30
6	gelbgrün	31,96	29,07	29,11	25,61	11,90
7	röthlichbraun . . .	29,89	26,62	25,32	21,88	17,72
8	schmuzig violett .	30,69	27,67	25,45	22,00	20,48
9	fahlgelb	31,27	28,37	25,60	22,16	21,89

Es verdient bemerkt zu werden, dafs der Impulsionsbogen im Mittel aus mehreren Beobachtungen, abwechselnd bei parallelen und sich kreuzenden Glimmerblättchen, genommen wurde, um die etwa vorkommenden Fehler auszumerzen, doch war der Apparat so fein construirt, dafs die Unterschiede der Bogen selten mehr als 0,02 betrugen. Die letzte Columne enthält den Polarisationsindex, d. h. den Wärmeantheil, welcher bei der Kreuzung der Platten verschwindet, bezogen auf die Menge, welche beim Parallelismus derselben durchfällt. So giebt die erste Platte bei parallelen Axen 27,5, bei rechtwinklig gekreuzten 26,48; der Unterschied 1,02 zeigt die durch Polarisation verlorene Menge. Um sie auf 100 zu reduciren, hat man

$$26,48 : 1,02 = 100 : x \text{ und } x = 3,71.$$

344) Melloni vermuthete, dafs die ungleiche Polarisation von der ungleichen Diathermansie der verschiedenen Turmalinplatten herrühre, und um dieses auszumitteln, befestigte er Platten verschiedener Substanzen vor demjenigen Turmalinpaare Nr. 9, welches die meisten Strahlen durchliefs, und sorgte dafür, dafs die bei parallelen Axen durchfallende Wärmemenge

möglichst gleich war. Die folgende Tabelle enthält die gefundenen Gröfsen.

Eingeschaltete Platten	Dicke Mil-lim.	Durchgelassene Wärme parallele Axen Bogen	Kräfte	durchkreuzende Axen Bogen	Kräfte	Polarisation
keine	0,00	17°,37	15,06	13°,47	11,76	21,91
Glas, farblos . .	1,85	17,93	15,53	13,94	12,15	21,79
— roth . . .	1,80	16,75	14,54	13,04	11,40	21,57
— orange . .	1,87	17,21	14,93	13,31	11,66	21,90
— gelb . . .	1,79	17,83	15,45	13,84	12,07	21,89
— blau . . .	1,83	17,59	15,24	13,66	11,92	21,78
— indigblau .	1,78	17,29	14,99	13,44	11,74	21,68
— violett . .	1,81	16,81	14,59	13,02	11,39	21,92
— bläulichgrün	0,74	16,99	14,74	15,95	13,86	5,95
— desgl. . .	1,93	17,32	15,02	16,85	14,62	2,76
— schwarz . .	0,81	17,55	15,21	16,76	14,55	4,35
— desgl. . .	1,98	17,80	15,42	17,52	15,19	1,51
Schwerspath . . .	2,60	17,10	14,83	13,18	11,52	22,30
Gyps	2,71	16,95	14,71	10,54	9,18	37,63
Rüböl	8,49	16,97	14,72	10,40	9,05	38,50
weins. Kalinatron	2,50	17,39	15,08	9,49	8,26	45,21
ges. Salzlösung .	8,49	17,49	15,16	5,78	5,06	66,60
— Alaun . .	8,49	17,56	15,22	5,81	5,08	66,63
— Weinsäure .	8,49	17,39	15,08	5,76	5,04	66,59
— desgl. . .	0,74	16,96	14,72	10,76	9,38	36,31
Wasser	8,49	16,77	14,55	5,54	4,85	66,67
desgl. . . .	0,74	17,20	14,92	10,91	9,50	36,27
Bernstein . . .	3,08	17,23	14,94	8,35	7,29	51,23
Alaun	2,58	16,98	14,73	0,58	0,52	95,81

Es geht aus den hier gefundenen Gröfsen hervor, dafs in Folge der Einschaltung verschiedener Körper in den Strahlenkegel der Wärmestrahlen diese eine gewisse Modification erhalten, vermöge welcher die Turmalinplatten von 100 Strahlen, die sie bei parallelen Axen durchlassen, eine ungleiche Menge bei durchkreuzenden Axen verschlucken, dafs also eine ungleiche Polarisation derselben statt findet. So wie also die verschiedenen diathermanen Körper vermöge ungleicher Diathermansie eine ungleiche Menge Strahlen, aus heterogenen Wärmequellen entsprungen, durchlassen, aufserdem auch eine ungleiche Brechung derselben bedingen, disponiren sie auch die

Strahlen aus homogenen Quellen, ungleich polarisirt zu werden, wozu man noch aufserdem das ungleiche Reflexionsvermögen der Oberflächen verschiedener Körper, ohne Rücksicht auf ihre Diathermanie, setzen kann. Auch bei der Polarisation, wie die Tabelle ergiebt, zeigt die Farbe des Glases, mit Ausnahme der grünen und schwarzen, keinen Einflufs. Die vom Alaun durchgelassenen Strahlen zeigten sich in den früher erwähnten Versuchen den Lichtstrahlen sehr ähnlich, sofern sie alle farblose diaphane Körper leicht durchdringen und von weifsen Oberflächen wenig absorbirt werden; hier gewahrt man die nämliche Eigenschaft rücksichtlich ihres starken Polarisirtwerdens.

345) Dieses Verhalten des Alauns führt zur Erklärung der ungleichen Polarisation verschiedener Turmalinblättchen, deren Diathermansie gleichfalls verschieden ist. Hat daher der eingeschaltete Schirm mit den Turmalinblättchen eine gleiche Diathermansie, und läfst er also dieselben Strahlen in dem nämlichen Verhältnifs durchfallen, als diese Blättchen, so wird zwar die absolute Menge der durchfallenden Strahlen vermöge der ungleichen Diathermansie dieser Schirme verändert, allein die Polarisationen behalten dasselbe Verhältnifs bei. Dieses ist der Fall bei farblosem, rothem, orangefarbenem, gelbem, blauem, indigfarbenem und violettem Glase; allein Wasser, Oel, Bernstein, Alaun, grünes und undurchsichtig schwarzes Glas ändern den Polarisationsindex beträchtlich, weil ihre Diathermansie von der der Turmalinplatten beträchtlich abweicht. Nimmt man aber Turmalinplatten, die nicht mehr die nämliche Diathermansie haben, so werden die Veränderungen, welche die eingeschalteten Schirme in den Werthen des Polarisationsindex erzeugen, nicht mehr dieselben und in der nämlichen Ordnung folgende seyn. Dieses zeigt sich deutlich bei den in folgender Tabelle verzeichneten, mit der Turmalinplatte Nr. 5 unter übrigens gleichen Bedingungen erhaltenen Gröfsen.

Eingeschaltete Platten	Dicke Millim.	Durchgelassene Wärme parallele Axen Bogen	Kräfte	durchkreuzende Axen Bogen	Kräfte	Polarisation
keine	0,00	17°,11	14,84	15°,15	13,15	11,35
bläulichgrünes Glas	1,93	17,65	15,30	15,54	13,49	11,83
opak. schwarzes Glas	1,98	17,10	14,83	15,06	13,05	11,94
Schwerspath . . .	2,60	17,33	15,03	15,23	13,21	12,07
Rüböl	8,49	17,52	15,19	12,95	12,80	15,65
Gyps	2,71	17,76	15,39	12,74	12,63	17,91
farbloses Glas . . .	1,85	17,27	15,08	16,24	14,11	6,46
dito dito . . .	8,27	17,81	15,43	17,05	14,79	4,17
Glas, rothes . . .	1,80	17,49	15,16	16,32	14,17	6,53
— orangefarbenes	1,87	16,91	14,67	15,77	13,69	6,70
— gelbes . . .	1,79	17,22	14,93	16,12	14,00	6,15
— blaues . . .	1,83	16,87	14,64	15,81	13,73	6,20
— indigfarbiges .	1,78	16,98	14,73	15,86	13,78	6,44
— violettes . . .	1,81	17,30	15,00	16,20	14,06	6,29

346) Die Folgerungen aus den hier mitgetheilten Gröfsen ergeben sich von selbst. Berücksichtigen wir unter diesen namentlich den Einflufs der Dicke der eingeschalteten Platten, so ergiebt sich, dafs der den Polarisationsindex vergröfsernde oder vermindernde Einflufs der Substanzen in dem Mafse stärker ist, in welchem die Dicke wächst. Wasser z. B. erhöhet bei falben Turmalinen, wenn seine Dicke 0,74 Millim. beträgt, den Polarisationsindex von 22 auf 36, durch eine 8 Millim. dicke Schicht aber auf 67, eine schwarze Glasplatte dagegen, welche diesen Index von 22 auf 4 bei einer Dicke von 0,81 Millimeter herabbringt, vermindert ihn bis 1,5 bei 2 Millimeter Dicke. Dieses Verhalten stimmt genau mit dem des Lichtes überein, wenn dasselbe, je nach Beschaffenheit seiner Farbe, die verschiedenen diaphanen Körper durchdringt. Gesättigte Lösungen von Weinsäure, Steinsalz und Alaun in Wasser ändern den Polarisationsindex des letzteren nicht merklich. Alaun und Steinsalz, im Wasser gelöset, obgleich beide Substanzen das *Minimum* und das Maximum der Diathermanie zeigen, ändern das diathermane Verhalten des Wassers nicht merklich, wie oben bemerkt wurde, und da sie auch den Polarisationsindex nur unmerklich ändern, so ersieht man hieraus, dafs dasselbe, was in Beziehung auf diese Substanzen von der Quantität gilt, auch von der Qualität der Wärmestrahlen gültig ist.

Fängt man die Wärmestrahlen, welche durch gesättigte Lösungen von Steinsalz oder Alaun oder durch reines Wasser gegangen sind, nach einander mit der Säule auf, so erhält man bei gleichen Dicken stets sehr nahe die nämlichen Ablenkungen. Dieselbe Unveränderlichkeit findet auch noch statt, wenn man folgeweise hinter jede dieser Flüssigkeiten dieselbe Platte Alaun oder jeder andern Substanz aufstellt, indem die gemeinschaftliche Ablenkung stets um eine constante Gröfse sinkt.

347) Noch bleibt rücksichtlich der Polarisation durch Turmalinplatten der Einfluſs des Unterschiedes der Wärmequellen zu untersuchen. Zu diesem Ende wurden die Turmalinplattenpaare Nr. 1; 5; 8; 9 den Strahlen der Argand'schen Lampe, der gemeinen (Locatelli'schen) Lampe, des glühenden Platins und des bis 400° C. erhitzten Kupfers ausgesetzt, die in der folgenden Tabelle durch L; Lc; P; K bezeichnet sind.

Polarisationsindex.

Turmaline	L	Lc	P	K
Nr. 1 dunkelgrün .	0,37	3,71	5,27	0,59
Nr. 5 gelblichgrün .	5,33	11,30	13,89	3,22
Nr. 8 schmuzigviolett	24,50	20,48	17,20	2,30
Nr. 9 fahlgelb	26,21	21,89	18,16	2,98

Im Ganzen wächst die Polarisation durch Turmaline mit der Intensität der Wärmequelle; rücksichtlich der verschiedenen Turmaline und der gleichfalls verschiedenen Wärmequellen treten aber bedeutende Unterschiede hervor. Einige Strahlen erleiden nur eine geringe Polarisation, ja sogar eine so schwache, daſs sie ganz problematisch bleibt, andere] geben deutlichere Spuren, und noch andere werden vollständig, wie die Lichtstrahlen, polarisirt. Die grünen Turmaline namentlich absorbiren die polarisirbaren Wärmestrahlen fast gänzlich oder ganz, andere, namentlich die violetten und gelben Turmaline, lassen die polarisirbaren Strahlen in Menge durch, woraus beiläufig ein bedeutender Unterschied zwischen den Licht- und Wärmestrahlen hervorgeht. Inzwischen folgt hieraus nach Melloni nicht, daſs eine verschiedene Polarisationsfähigkeit den Turmalinen beizulegen sey, vielmehr können alle Wärmestrahlen eine gleiche und vollständige Polarisation im Innern der Turmaline erleiden und dennoch beim Austritt mehr oder weniger pola-

risirt erscheinen. Hierzu reicht die Annahme hin, dafs die Turmaline alle Arten Wärmestrahlen doppelt brechen, aber das eine der bei dieser Doppelbrechung entstehende Bündel bei seinem Durchgange mehr oder weniger absorbiren. Wenn beide gebrochene Bündel gleiche Intensität haben, rechtwinklig polarisirt sind und einander fast decken, so können sie keine Spur von Polarisation zeigen, falls sie einen gleichen Grad von Absorption erleiden. Sobald aber das eine Bündel bei seinem Durchgange einen gröfsern Antheil seiner Intensität verloren hat, so mufs das andere nothwendig bei seinem Austritt Anzeigen von Polarisation geben, und die Erscheinungen gleichen denen des Lichtes, sobald eins der beiden gebrochenen Bündel im Innern der Platten vollständig absorbirt worden ist. Uebrigens scheint es mir keinen Widerspruch in sich zu schliefsen, wenn man den verschiedenen Turmalinen ein durch die Ungleichheit der Wärmequellen bedingtes gröfseres oder geringeres, selbst bis zum Verschwinden abnehmendes Polarisationsvermögen beilegen wollte, wie so viele Körper sich hinsichtlich ihrer Diathermanie und Diathermansie gleichfalls so verschieden zeigen, da es ohnehin wohl noch nicht ausgemacht ist, ob das Verschwinden der Wärmestrahlen durch Polarisation eine Folge der Absorption und nicht vielmehr einer Beruhigung der Wärmewellen oder des Zusammenfallens der positiven mit den negativen, wie bei der Interferenz des Lichtes, ist. Dabei bleibt Melloni's Ansicht immer die wahrscheinlichere; denn im Allgemeinen dürfen wir nach den bestehenden Erfahrungen annehmen, dafs die Wärmeundulationen in Folge des Gebundenwerdens des Wärmeäthers durch wägbare Körper zur Ruhe kommen.

348) Die durch Forbes gleichfalls aufgefundene *Polarisation* der *durch diathermane Körper* unter gewissen Einfallswinkeln durchfallenden Wärmestrahlen, ähnlich der Polarisation des Lichtes beim Durchgange durch mehrere auf einander liegende Glasscheiben, wurde auch durch Melloni einer neuen ausführlichen Untersuchung unterworfen, wozu er gleichfalls mehrere übereinander gelegte dünne Turmalinblättchen anwandte. Gegen das durch Forbes erhaltene Resultat, wonach die nämlichen Glimmerblättchen für verschiedene Wärmequellen ungleiche Größen der Polarisation geben sollen, namentlich mit einer Argand'schen Lampe 0,29, mit einer gemeinen 0,24, mit einer Alkoholflamme

0,36, mit glühendem Platin 0,40, mit erhitztem Kupfer 0,22, mit einem Quecksilbergefäfs von 280° C. Wärme 0,17 und mit einem Gefäfse voll siedenden Wassers 0,06, erhebt Melloni Zweifel und glaubt, dafs die Ursache der Unrichtigkeit von der ungleichen Annäherung der Wärmequelle an den Polarisationsapparat und von dem Einflusse der durch Mittheilung (secundäre Strahlung) von den Turmalinplatten zum Thermomultiplicator gelangenden Wärme herrühre[1]. Als Forbes später die Wärmequellen in constanter Entfernung hielt, fielen die Resultate anders aus, denn die Argand'sche Lampe gab 0,72 bis 0,74; glühendes Platin 0,72; heifses Kupfer 0,63; bis 280° C. heifses Quecksilber 0,48 und siedendes Wasser 0,44; allein auch diese Resultate hält Melloni für nicht ganz fehlerfrei. Wie dieses auch seyn mag, so viel ist auf jeden Fall gewifs, dafs die sogenannten dunklen Wärmestrahlen beim Durchgange durch geeignete Körper gleichfalls polarisirt werden, wie auch aus später fortgesetzten Versuchen von Forbes[2] unwidersprechlich hervorgeht.

349) Um die polarisirenden Platten (oder *Säulen*, wie sie genannt werden) der über einander liegenden Glimmerblättchen zu erhalten, nimmt man nach Melloni eine gewöhnliche Glimmerplatte von 1 oder 2 Millim. Dicke, bestimmt durch optische Mittel die Lage der Axen und schneidet im Sinne dieser beiden auf einander senkrechten Richtungen ein Rechteck von 8 bis 10 Centim. Seite aus, verfertigt einen Rahmen aus dünner Pappe, dessen innere rechteckige Oeffnung nach allen Seiten etwa 6 bis 8 Millim. kleiner ist, als die Glimmerplatte, spaltet letztere nach einander in möglichst dünne Blättchen, klebt diese vermittelst Gummi nach einander mit zwischen den Rändern liegenden dünnen und schmalen Papierstreifen, ihre ursprüngliche Lage beibehaltend, über die Oeffnung des Rahmens, legt endlich einen zweiten gleichen Rahmen darüber und klebt die

---

1 Forbes verwahrt sich gegen diesen Einwurf, und wirklich konnten die Glimmersäulen nicht bedeutend erwärmt werden, da die Impulsionsbogen gemessen wurden, mithin die Einwirkung der Wärmequelle nur momentan war. Der Unterschied der Resultate, welche beide Experimentatoren erhielten, scheint ihm in der ungleichen Menge der gebrauchten Glimmerblättchen zu liegen. S. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXX. p. 542.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLVI. p. 246.

Ränder beider Rahmen mit Papierstreifen so zusammen, dafs die zwischenliegenden Blättchen sich nicht verschieben können. Melloni verfertigte auf diese Weise acht Paare solcher Glimmersäulen von 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 und 35 Blättchen. Sein Polarisationsapparat war der von Biot[1] angegebene, bestehend aus einem horizontalen Rohre, mit einer hohlen Fassung an beiden Enden, die sich durch Reibung festgehalten umdrehen liefsen, wobei die Umdrehung durch eine auf dem Rande der Fassungen angebrachte Theilung in 360 Grade gemessen wurde. Jede der Fassungen hat an ihrem freien Ende zwei hervorragende Arme, die als Träger eines Rahmens dienen, in welchen die beschriebenen Turmalinsäulen eingesetzt werden. Die Rahmen werden durch zwei, in der Mitte ihrer gegenüberstehenden Seiten befestigte Axen getragen, die durch zwei Löcher in den genannten Armen gesteckt sind; eine Klemmschraube dient, sie in der erforderlichen Neigung gegen die Axe des Rohres festzustellen, und ein an der einen Axe befestigter getheilter Kreis dient zur Messung dieser Neigung, worin sie festgestellt sind. Eine auf dem Rohre mit dessen Axe parallele Linie, welche an beiden Enden bis zum Rande der Fassungen reicht, zeigt den Anfangspunct, von welchem die Umdrehung der getheilten Ränder der Fassungen ausgeht. Die Strahlen der Wärmequellen werden durch eine Steinsalzlinse gesammelt und in einen Cylinder vereinigt, dessen Axe mit der des Rohres zusammenfällt, und um den Einflufs der Erwärmung des Apparates und eine hierdurch bewirkte secundäre Strahlung zu vermeiden, wird vor den Polarisationsapparat ein doppelter oder dreifacher Metallschirm gestellt, mit einer viereckigen Oeffnung von der Gröfse der kleinsten angewandten Glimmersäule. Auf diese Weise war es möglich, die Lampe als Wärmequelle 40 bis 50 Cent. vom Polarisationsapparate und die thermoelektrische Säule 20 bis 30 Cent. hinter demselben, alle drei in derselben horizontalen Ebene, aufzustellen. Weil die Menge der durchgelassenen Wärmestrahlen mit der Zahl der aufeinander liegenden Glimmerblättchen abnimmt, so beseitigte Melloni diesen Unterschied nicht durch gröfsere Annäherung der Wärmequelle, was leicht Fehler herbeiführt, sondern indem er hinter derselben einen metallenen Hohlspiegel aufstellte,

[1] Traité. T. IV. p. 255.

welcher die Strahlen concentrirte, und sie auf die Steinsalzlinse warf, so daſs diese auſser den Strahlen der ihr zugewandten Seite der Flamme auch die der abgewandten in einen gemeinsamen Cylinder vereinigte. Dieser Hohlspiegel wurde anfangs für die aus den wenigsten Blättchen bestehenden Säulen völlig mit Ruſs geschwärzt und nachher um einen angemessenen Theil wieder blank gemacht, so weit es die gröſsere Zahl der Glimmerblättchen erforderte. Für jedes einzelne Säulenpaar blieb übrigens der Apparat ungeändert, um die erhaltenen Resultate unter sich vergleichbar zu machen.

350) Ehe wir in den folgenden Tabellen die erhaltenen Resultate mittheilen, müssen wir noch eine Thatsache erörtern, welche Melloni durch unmittelbare Messungen aufgefunden zu haben versichert. Die polarisirte oder die bei der Kreuzung der polarisirenden Platten verschwindende Wärme wird weder zerstört noch absorbirt, sondern bloſs reflectirt. Sind nämlich beide polarisirende Flächen einander parallel und in einem Winkel von 30 bis 40 Grad gegen den einfallenden Wärmecylinder geneigt, und stellt man den Thermomultiplicator so, daſs die von der hinteren Fläche reflectirten Strahlen ihn treffen würden, so rührt sich die Nadel kaum oder gar nicht, stellt man aber die vordere Platte rechtwinklig gegen die hintere, so tritt sofort eine bedeutende Abweichung der Nadel ein.

351) Die Bezeichnungen in den nachfolgenden Tabellen sind dieselben, wie in den früheren; jedoch ist Folgendes zu bemerken. Die Neigung bezeichnet den Winkel, welchen die Fläche des polarisirenden Glimmerbündels mit der Axe des einfallenden Wärmecylinders bildet, und Polarisation bezeichnet die Menge Strahlen von 100, welche von den beim Parallelismus der Säulen durchgelassenen durch die Kreuzung derselben polarisirt wird oder verschwindet. Die übrigen Columnen sind durch die Ueberschriften deutlich.

Durchgelassene Wärme.

Neigung	Parallele Axen		Durchkreuzende Axen		Polarisation
	Bogen	Kräfte	Bogen	Kräfte	
Taf. I. Säulen von 3 Blättchen.					
45°	35°,29	31,68	32°,01	29,12	8,08
43	34,99	31,52	30,77	27,78	11,87
41	34,24	31,12	29,55	26,18	15,87
39	33,58	30,55	28,13	24,49	19,84
37	32,84	29,81	26,22	22,70	23,85
35	31,78	28,88	24,23	20,86	27,77
33	30,71	27,70	21,98	18,87	31,87
31	29,44	26,04	19,40	16,73	35,76
29	27,41	23,81	16,53	14,35	39,73
27	24,57	21,18	13,63	11,90	43,81
25	21,24	18,25	10,94	9,54	47,73
23	17,31	15,01	8,27	7,22	51,89
21	13,31	11,63	5,88	5,15	55,72
19	9,22	8,02	3,71	3,24	59,60
17	5,02	4,39	1,83	1,60	63,55
Taf. II. Säulen von 5 Blättchen.					
45°	35°,92	32,01	28°,54	24,95	22,06
43	35,69	31,89	27,01	23,45	26,46
41	35,42	31,75	25,16	21,73	31,56
39	35,21	31,64	23,47	20,15	36,31
37	34,33	31,17	21,39	18,38	41,03
35	33,30	30,26	19,75	16,46	45,61
33	31,64	28,74	16,39	14,23	50,49
31	29,71	26,38	13,80	12,03	54,39
29	27,38	23,79	11,29	9,85	58,59
27	23,70	20,36	8,72	7,61	62,62
25	20,04	17,23	6,60	5,77	66,51
23	16,01	13,91	4,74	4,14	70,24
21	11,71	10,24	3,06	2,68	73,83
19	7,58	6,63	1,71	1,50	77,37
17	3,42	2,99	0,66	0,58	80,60

Durchgelassene Wärme.

Neigung	Parallele Axen Bogen	Parallele Axen Kräfte	Durchkreuzende Axen Bogen	Durchkreuzende Axen Kräfte	Polarisation
Taf. III. Säulen von 10 Blättchen.					
45°	29°,82	26,53	17°,21	14,93	43,73
43	31,41	28,49	16,48	14,31	49,77
41	33,29	30,24	15,36	13,32	55,95
39	35,19	31,63	13,95	16,16	61,56
37	36,46	32,50	12,31	10,77	66,86
35	36,86	32,88	10,63	9,26	71,84
33	36,72	32,75	8,90	7,75	76,34
31	33,79	30,76	6,92	6,05	80,33
29	30,94	28,00	5,25	4,59	83,61
27	27,89	24,25	3,72	3,25	86,60
25	23,19	19,89	2,44	2,14	89,24
23	17,60	15,26	1,55	1,36	91,09
Taf. IV. Säulen von 15 Blättchen.					
45°	24°,12	20,75	9°,30	8,09	61,01
43	27,08	23,51	8,95	7,79	66,87
41	29,59	26,23	8,16	7,13	72,82
39	31,66	28,76	7,23	6,32	78,03
37	33,79	30,77	6,15	5,38	82,51
35	35,58	31,83	4,99	4,36	86,30
33	35,44	31,76	3,90	3,40	89,29
31	32,13	29,22	2,90	2,54	91,31
29	29,04	25,52	2,14	1,87	92,67
27	24,41	21,03	1,55	1,36	93,53
25	18,23	15,78	1,07	0,94	94,04
23	12,05	10,54	0,68	0,60	94,31

Durchgelassene Wärme.

Neigung	Parallele Axen Bogen	Parallele Axen Kräfte	Durchkreuzende Axen Bogen	Durchkreuzende Axen Kräfte	Polarisation

Taf. V. Säulen von 20 Blättchen.

Neigung	Parallele Axen Bogen	Parallele Axen Kräfte	Durchkreuzende Axen Bogen	Durchkreuzende Axen Kräfte	Polarisation
45°	21°,23	18,24	6°,56	5,74	68,53
43	24,60	21,23	6,51	5,69	73,20
41	28,08	24,44	6,22	5,44	77,74
39	30,66	27,63	5,68	4,97	82,01
37	33,55	30,52	5,00	4,37	85,01
35	36,21	32,25	4,24	3,70	88,53
33	36,18	32,22	3,41	2,98	90,75
31	34,60	29,50	2,52	2,21	92,51
29	27,63	24,01	1,68	1,47	93,88
27	21,52	18,49	1,13	0,99	94,64
25	14,41	12,53	0,73	0,64	94,89
23	8,31	7,26	0,41	0,36	95,04

Taf. VI. Säulen von 25 Blättchen.

Neigung	Parallele Axen Bogen	Parallele Axen Kräfte	Durchkreuzende Axen Bogen	Durchkreuzende Axen Kräfte	Polarisation
45°	18°,57	16,05	4°,17	3,64	77,32
43	22,78	19,53	4,19	3,66	81,26
41	26,51	22,97	4,00	3,49	84,81
39	29,71	26,39	3,71	3,24	87,72
37	32,45	29,48	3,28	2,84	90,33
35	35,42	31,75	2,61	2,39	92,47
33	35,56	31,82	2,20	1,93	93,93
31	31,75	28,85	1,73	1,52	94,73
29	27,20	23,62	1,33	1,17	95,05
27	20,51	17,63	0,99	0,87	95,06
25	13,13	11,48	0,65	0,57	95,03
23	6,90	6,03	0,34	0,30	95,02

Durchgelassene Wärme.

Neigung	Parallele Axen		Durchkreuzende Axen		Polarisation
	Bogen	Kräfte	Bogen	Kräfte	
Taf. VII. Säulen von 30 Blättchen.					
45°	16°,92	14,68	2°,73	2,39	83,72
43	21,50	18,47	2,74	2,40	87,01
41	25,84	22,18	2,52	2,21	90,04
39	29,36	25,93	2,30	2,01	92,25
37	32,38	29,43	2,12	1,86	93,68
35	35,96	32,03	1,90	1,67	94,79
33	36,53	32,56	1,83	1,60	95,09
31	31,90	29,01	1,62	1,42	95,11
29	27,11	23,24	1,30	1,14	95,16
27	19,89	17,13	0,94	0,83	95,15
25	12,33	10,79	0,59	0,52	95,18
23	5,81	5,68	0,28	0,25	95,08
Taf. VIII. Säulen von 35 Blättchen.					
45°	14°,69	12,75	1°,71	1,50	88,24
43	19,35	16,69	1,72	1,51	90,95
41	23,86	20,51	1,63	1,43	93,03
39	27,99	24,34	1,56	1,37	94,35
37	30,83	27,85	1,60	1,40	94,97
35	33,88	30,86	1,74	1,52	95,07
33	34,93	31,49	1,76	1,54	95,11
31	30,89	27,93	1,57	1,38	95,06
29	25,67	22,19	1,24	1,09	95,09
27	18,23	15,78	0,88	0,77	95,12
25	10,92	9,52	0,53	0,47	95,06
23	4,34	3,79	0,22	0,19	94,99

Aus diesen Tafeln lassen sich folgende Resultate entneh[illegible] 1) Die Menge der durch Polarisation verschwindenden Wä[illegible] strahlen wächst, sowie der Winkel, unter welchem die [illegible] fallenden Strahlen auf die polarisirende Fläche auffallen, kl[illegible] wird. 2) Bei Säulen von einer größeren Anzahl Blättchen er[illegible] reicht die Polarisation bei einem gewissen Neigungswinkel ei[illegible]

Maximum und bleibt auf diesem bei abnehmenden Winkeln stehen. 3) Die Neigung, bei welcher der unveränderliche Werth eintritt, nimmt mit der Anzahl der Blättchen zu.

352) Uebrigens ist die Gröfse der Polarisation so, dafs man sie fast vollständig nennen kann, sie erreicht mehr als 0,95, und MELLONI glaubt, dafs auch das Licht, wenn man genaue Messungen anstellen könnte, nicht stärker polarisirt werde, denn wenn er durch die Maschine sah, nahm er noch immer einen geringen Lichtschimmer wahr; überhaupt aber ist die Uebereinstimmung der Polarisationsphänomene durch Refraction zwischen Licht und Wärme so auffallend, dafs man daraus mit Grunde auf eine den Wärmestrahlen zukommende Polarisation durch Reflexion schliefsen kann. Der Einfallswinkel, welcher die stärkste Polarisation giebt, ist schwer zu bestimmen, weil der Einflufs der durchgehenden Strahlen dieses hindert, deren Menge beim lothrechten Einfall am gröfsten ist (wobei übrigens gar keine Polarisation statt findet), aber auch beim schiefen Auffallen nicht gänzlich wegfällt. Inzwischen nimmt diese Unbestimmtheit ab, je mehr Blättchen auf einander liegen, weswegen MELLONI zu seinen Säulen noch andere von mehreren Lagen verfertigte, so dafs es ihm möglich wurde, die Wärmedurchgänge durch ungleich zahlreiche Lagen bei verschiedenen Einfallswinkeln zu messen, wobei jedoch zu bemerken ist, dafs wegen ungleicher Intensität der Wärmequelle die Resultate nur unter sich vergleichbar sind.

Wärmedurchgang

Neigung		20 Blättchen	60 Blättchen	120 Blättchen
35°	0′	37°,34	35°,97	31°,86
34	30	37,42	36,48	32,71
34	0	37,46	36,87	33,07
33	30	37,39	37,10	33,29
33	0	37,09	36,82	33,02

Aus diesen Gröfsen folgt, dafs der Einflufs der durchgehenden, nicht polarisirten Wärme bei Säulen von vielen Blättchen wegfällt. Nach der Uebereinstimmung der beiden letzten Columnen gehört das Maximum des Durchganges zu einem Winkel von 33° 30′ und liegt etwas näher bei 34°. MELLONI be-

merkt hierbei, dafs nach Brewster beim Lichte die Tangente des Polarisationswinkels durch die Zahl gegeben wird, welche den Refractionsindex des als Reflector angewandten Körpers ausdrückt. Der mittlere Refractionsindex für Glimmer[1] ist aber = 1,5 und diese Gröfse gehört als Tangente zum Winkel von 56° 19′, also von der Fläche an gerechnet 33° 41′, mithin ist der Winkel der vollständigen Polarisation durch Reflexion sehr nahe derselbe für Wärme und für Licht.

353) Bringt man vor die Oeffnung des Schirmes, durch welche bei Melloni's Apparate die Wärmestrahlen fallen, ehe sie zu den polarisirenden Glimmersäulen gelangen, eine dünne Schicht irgend einer Art, z.B. Alaun, Bernstein, schwarzes Glas, Wasser, Oel oder einer sonstigen diathermanen Substanz, so findet man den Polarisationsindex hierdurch gar nicht geändert, wie sich am auffallendsten zeigt, wenn man Substanzen von ganz verschiedener Diathermansie wählt, z. B. einerseits schwarzes oder grünes Glas, andererseits Wasser, Citronensäure oder Alaun. Nach der oben (§. 344) mitgetheilten Tabelle ist der Polarisationsindex für Strahlen, welche durch die beiden ersten Körper gegangen sind, bei Turmalinblättchen fast 0, für Alaun aber 0,95; werden aber diese Strahlen durch die polarisirenden Glimmersäulen modificirt, so zeigen die Polarisationsindices keinen mefsbaren Unterschied, und es werden daher die von verschiedenen Körpern durchgelassenen Wärmestrahlen, wie heterogener Art sie auch sind, durch Refraction gleich stark polarisirt, oder aber, was einerlei ist, die Polarisation, welche durch die brechenden Kräfte der Medien erzeugt wird, ist unabhängig von der Qualität der Wärmestrahlen. Melloni bestätigte diese Folgerung durch directe Versuche, die er mit der Lampe, dem glühenden Platindraht und dem erhitzten Kupfer anstellte, und weil die sogenannten dunklen Strahlen so schwer durch Glimmer dringen, wählte er Säulen von wenigen Lagen, schwächte dann aber die Strahlen der stärkeren Wärmequellen durch eine erforderliche Menge zwischengestellter Glasschirme, so dafs bei gleichem Abstande die Intensität aller drei Quellen gleich wurde. Es zeigten sich dann die Polarisationsindices bei der Anwendung aller drei Wärmequellen ganz gleich. Man kann übrigens eine Quelle leuch-

1 Biot Traité. T. IV. p. 80.

tender Wärmestrahlen einer solchen, welche dunkle aussendet, dadurch gleich machen, daſs man eine Scheibe schwarzen Glases einschaltet, wodurch man bloſs die letztere erhält. Um aber diese Gleichheit der Polarisationsfähigkeit aller Arten von Wärmestrahlen mit den durch Turmalinplatten erhaltenen Resultaten in Einklang zu bringen, muſs man berücksichtigen, daſs in den Turmalinplatten eine Ursache liegt, welche die polarisirenden Wirkungen bald versteckt, bald sichtbar werden läſst. Diese kann keine andere seyn, als die Doppelbrechung, vermöge welcher in den mit der Krystallisationsaxe parallel geschnittenen Platten allezeit zwei einander deckende Bündel von gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Polarisationsfähigkeit hervorgebracht werden. Im Fall, wo sich die Wirkung der Turmaline zeigt, wird eins dieser Bündel vollständig absorbirt und nur das andere bleibt mit der ihm eigenen Polarisationsfähigkeit übrig; im entgegengesetzten Falle erleiden beide Bündel eine gleiche Absorption und treten, in Bezug auf die Polarisation, vollkommen neutralisirt gemeinschaftlich aus. Wenn dann im letzten Falle die austretende Wärme der gewöhnlichen Wärme ähnlich ist, so muſs nothwendig das zweite Bündel, welches zuvor absorbirt wurde, rechtwinklig gegen das erste polarisirt seyn, und zwar vollständig, denn isolirt zeigt sich das erste Wärmebündel in diesem Zustande.

354) Gegen die Resultate, welche Forbes zum Beweise einer existirenden *Depolarisation* erhalten hat, und woraus er schlieſst, daſs die verschiedenartigen Wärmestrahlen ungleich depolarisirbar sind, sucht Melloni den nämlichen Einwurf geltend zu machen, welchen er gegen die Genauigkeit der von jenem gefundenen Gröſsen der Polarisation überhaupt aufgestellt hat, nämlich daſs die secundäre Strahlung einen Einfluſs ausgeübt habe, weswegen sich bei seinen eigenen Versuchen dieser Unterschied nicht herausstellte. Auch hierbei lieſs er die Wärmestrahlen aus den stärkeren Wärmequellen durch so viele hinter einander befindliche Glasscheiben durchgehn, bis sie den schwächeren an Intensität gleich wurden, und erhielt dann für alle gleiche Gröſsen der Depolarisation, so daſs die Existenz derselben durch diese wiederholten Versuche abermals bestätigt worden ist. Die zwischen beiden Experimentatoren streitige Frage, ob die aus verschiedenen Quellen entstehenden Wärmestrahlen eine ungleiche Polarisation erleiden, haben Beide kei-

neswegs aufgegeben. Forbes[1] bezog sich auf seine Erfahrungen, und wiederholte die Behauptung, dafs die Strahlen aus Wärmequellen von niedrigerer Temperatur weniger polarisirt werden, als die, welche von stärker glühenden Körpern ausgehn, was wohl nichts anderes heifsen kann, als dafs die sogenannten dunkelen Wärmestrahlen sich von den zugleich leuchtenden durch eine geringere Polarisirbarkeit unterscheiden. Die Ursache der Abweichung der durch ihn gefundenen Resultate von denen, welche Melloni erhielt, glaubt er darin zu finden, dafs Letzterer dickere Glimmerblättchen zu seinen Säulen genommen habe, als er selbst, da er dieselben durch rasches Erwärmen über Kohlen und hierdurch bewirktes Zerspalten in gröfster Feinheit erhielt. Hierauf erwidert aber Melloni, dafs eben diese Art der Bereitung den Irrthum herbeigeführt habe, sofern die durch dieses Mittel gespaltenen Blättchen nicht überall gleichmäfsig polirte Flächen erhalten konnten, mithin verschiedene Rauheiten zurücklassen mufsten, durch welche die dunkelen Wärmestrahlen leichter drangen, sich mit den polarisirten vereinigten, und daher den Schein einer geringeren Polarisirung erzeugten. Um diese Behauptung durch den Versuch zu unterstützen, verfertigte er sich aus einer einzigen Glimmerplatte von doppelter Länge, die er in der Mitte durchschnitt, zwei gleiche Paare Säulen, aus je fünf Blättchen bestehend, die sich durch nichts weiter von einander unterschieden, als dafs die Blättchen des einen Paars auf beiden Seiten mit der Spitze eines Federmessers geritzt waren, um ihnen eine rauhe Oberfläche zu geben. Mit diesen erhielt er folgende Resultate als das Mittel aus 10 Versuchen mit möglichster Vermeidung aller störenden Einflüsse.

---

1 Compt. rend. 1838. T. I. p. 705.

Wärmequelle		Brechungsebenen Säulen	parallel	gekreuzt	Polarisation
heifses Kupfer . . .	geritzt	9°,15	5°,76	37
	polirt	9,20	4,59	50
gemeine Lampe . .	geritzt	9,12	4,95	46
	polirt	9,10	4,55	50
desgl. mit Glaslinse	geritzt	9,06	4,62	49
	polirt	9,19	4,58	50

Die letzte Columne giebt die Menge der Strahlen, welche in Folge des Kreuzens der Säulen von 100 verloren wurden, und man könnte allerdings daraus folgern, dafs bei der Anwendung des bis 400° C. erhitzten Kupfers die wenigsten Strahlen verloren wurden, also eine geringere Polarisation statt gefunden habe; Melloni betrachtet dieses aber nach seiner Ansicht als eine Folge der rauheren Oberflächen, weil die Säulen übrigens ganz gleich waren, weswegen auch bei der Anwendung einer gewöhnlichen Lampe mit vorgehaltener Glaslinse der Unterschied zwischen dem Polarisationsvermögen der geritzten und der polirten Säulen verschwand und alle drei Lichtquellen mit den letzteren gleiche Gröfsen der Polarisation gaben.

355) Eine nähere Würdigung dieser Einwürfe veranlafste Forbes zu einer neuen, tiefer in die Sache eingehenden Untersuchung, deren Resultate wir in Kürze mittheilen wollen[1]. Im Allgemeinen gesteht er zu, dafs eben das Zerspalten der Glimmerblättchen durch Hitze eine Rauheit ihrer Oberfläche herbeigeführt habe, wodurch dann die Abweichung der erhaltenen Resultate von der gewöhnlichen Regel veranlafst worden sey. Um hierüber näheren Aufschlufs zu erhalten, bezog sich eine vierte Reihe von Versuchen desselben auf die Auffindung der Wirkungen, welche die mechanische Textur der Schirme auf den unmittelbaren Durchgang der strahlenden Wärme hervorbringt. Als Grundlage hierbei diente Melloni's Entdeckung, dafs reines Steinsalz, welches alle Arten von Wärmestrahlen mit gleicher Leichtigkeit durchläfst, durch einen Ueberzug von Rufs die Eigenschaft erhält, die sogenannten dunklen Wärmestrahlen

1 Edinburgh Philos. Trans. T. XV. P. I. Poggendorff's Ann. LI. 88. 387.

mehr durchzulassen, die von jeder andern Substanz, als Glas, Alaun u. s. w., am meisten zurückgehalten werden. FORBES sagt, es heifse dieses nichts anderes, als dafs Steinsalz in Beziehung auf Wärme die nämlichen Wirkungen äufsere, welche ganz klares Glas auf die Lichtstrahlen ausübe, indem durch dieses Lichtstrahlen, durch jenes Wärmestrahlen, beide von jeder Brechung, dringen, statt dafs alle andere diathermane Substanzen die Wärmestrahlen von geringerer Brechung absorbiren, so wie blaues und violettes Glas die am wenigsten gebrochenen Lichtstrahlen gleichfalls absorbiren. Die Richtigkeit dieser Ansicht leuchtet sofort ein, wenn man überlegt, dafs alle in die Wärmestrahlen gebrachte Medien das Maximum der Wärme im Spectrum, wenn es durch Steinsalz erzeugt ist, den rothen oder selbst den gelben Strahlen mehr nähern. Eine dieser entgegengesetzte Wirkung äufsert das Steinsalz, wenn es mit einem Ueberzug von Rufs bedeckt ist, indem es alsdann so auf die Wärmestrahlen, wie ein rothes Glas auf die Lichtstrahlen wirkt, nämlich die am wenigsten brechbaren Wärmestrahlen durchläfst, die brechbareren dagegen absorbirt, und da aus den früheren Versuchen von FORBES hervorgeht, dafs die durch Hitze gespaltenen Glimmerblättchen eine ähnliche Wirkung zeigen, so ist damit die Wissenschaft auf jeden Fall einen bedeutenden Schritt weiter gefördert, sofern sich eine sehr genaue Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der Lichtstrahlen und Wärmestrahlen herausstellt.

356) Die Wirkung des durch Hitze zersplitterten Glimmers rührt allem Anschein nach von der Aufblätterung desselben in eine unendliche Menge kleiner Flächen und den dadurch veranlafsten zahllosen Reflexionen her, und die Frage mufste sich daher aufdrängen, ob die Wirkung des Rufses von seiner eigenthümlichen Natur oder der durch ihn erzeugten Rauheit der Oberfläche herrühre. Um hierüber zu entscheiden, verglich FORBES die Wirkungen von Steinsalz mit berufster und mit durch Schmirgelpapier rauh gemachter Oberfläche, wobei er folgende Resultate erhielt.

Wärmequellen.	Von 100 Strahlen gingen durch Steinsalz		Relativer Durchgang durch Steinsalz	
	berufst	rauh	berufst	rauh
gemeine Lampe mit Glas .	30	49	100	100
gemeine Lampe ohne Glas	—	62	—	126
dunkelheiſses Kupfer . .	58	70	192	142
siedendes Wasser	67	77	223	157

Da diese Gröſsen kein befriedigendes Resultat gaben, so argumentirte Forbes, daſs die Wirkungen einer doppelt dicken Ruſsschicht bedeutend von denen zweier Flächen von einfacher Dicke abweichen müſsten, wenn die Ruſsschicht überhaupt bloſs durch Veränderung der Oberfläche wirke. Daher überzog er eine Platte Steinsalz A mit einer Schicht von doppelter Dicke, zwei andere D und E jede mit einer einfachen, und erhielt folgende Resultate.

		Von 100 durchgelassenen Strahlen		
		Lampe mit Glas	Lampe ohne Glas	dunkles Kupfer
Steinsalzplatte	A . . .	8,3	17,2	32,9
— —	D . . .	26,0	41,0	58,0
— —	E . . .	23,5	36,0	53,5
— —	D und E	7,3	18,0	32,1

Die geringe Abweichung des ersten und des vierten Werthes von einander ist offenbar der Ansicht nicht günstig, daſs der Ruſs bloſs durch seinen Einfluſs auf die Oberfläche des Steinsalzes wirken sollte, denn alsdann könnte die doppelte Dicke der Schicht unmöglich eine gleiche Wirkung äuſsern, als zwei Schichten von einfacher Dicke. Inzwischen bleibt es unverkennbar merkwürdig, daſs die bloſse Rauheit der Oberfläche sich auf gleiche Weise wirksam zeigt, als das Ueberziehn derselben mit Ruſs, indem noch auſserdem beide die durch sie gedrungenen Wärmestrahlen so disponiren, daſs sie dann durch einen zweiten diathermanen Körper in gröſserer Menge dringen. So lieſs unter andern die genannte beruſste Steinsalzplatte E folgende Strahlen von 100 durchfallen, nachdem diese vorher

durch den Schirm H von gesplittertem Glimmer, durch die Platte D berufsten und die Platte a rauh gemachten Steinsalzes gedrungen waren.

Wärmequellen.	Wärmeprocente durch E dringend nach dem Durchgange durch nichts	H	D	a
Lampe mit Glas	23,5	...	28	29,0
Lampe ohne Glas ...	36,0	43,5	44	40,4
dunkelheifses Kupfer ..	53,5	56,0	56	55,0

Die erhaltenen Gröfsen zeigen, dafs die Strahlen aus nicht leuchtenden Quellen in Folge ihres Durchganges durch die berufste Steinsalzplatte ähnliche Schirme leichter zu durchdringen vermögen. Hinsichtlich der *Zurückwerfung* der Wärmestrahlen, vorzüglich bei gröfseren Einfallswinkeln, zeigten die rauhen Flächen ein gleiches Verhalten, wie aus dem hier folgenden Verhältnifs der von einer polirten und einer rauh gemachten Fläche Flintglas reflectirten Wärmestrahlen hervorgeht.

Einfalls-winkel	Lampe mit Glas	Lampe ohne Glas	dunkelheifses Kupfer
60° ...	.....	100:34,0	100:35,4
70 ...	100:26,5	100:38,3	100:43,5

Auch hier zeigt sich also, dafs die hindernde Kraft der rauhen Flächen mit der Brechbarkeit der Wärmestrahlen abnimmt. Auf die durchgehenden Lichtstrahlen hat die Berufsung einen gleichen Einflufs, denn durch geschwärztes Glas erhält man ein rothes Bild der Sonne[1].

Soll der *Einflufs nicht polirter* oder *ungleich stark polirter Oberflächen* auf die Durchlassung verschiedenartiger Wärmestrahlen genauer erörtert werden, so kommt dabei zuerst die

---

1 Forbes meint, die Reflexion des Lichtes zeige sich auf gleiche Weise, als die der Wärme; ob dasselbe auch für durchgehende Lichtstrahlen gelte, sey noch nicht deutlich beobachtet worden. Allein das Durchdringen der rothen Strahlen durch eine geschwärzte Glasscheibe ist allbekannte Thatsache, und hierdurch scheint die aufgeworfene Frage Beantwortung zu finden.

Frage in Betrachtung, ob das Steinsalz auch mit Sicherheit als für alle Wärmearten gleich diatherman betrachtet werden könne, ohne seine jedesmalige gröſsere oder geringere Politur, mit Ausschluſs eigentlicher Rauheit, zu berücksichtigen. Forbes glaubt diese Frage unbedenklich bejahen zu dürfen, denn zwei nicht eben mit groſser Sorgfalt polirte Steinsalzplatten lieſsen von einer gemeinen (Locatelli'schen) Lampe mit Glasschirm 72 und vom beruſsten heiſsen Kupfer 73 Procent Wärme durch, als aber eine andere, auf der polirten Fläche durch langes Liegen matt gewordene, dann absichtlich rauh gemachte Platte genommen wurde, fielen von der ersten Quelle 66, von der zweiten 77 Procent Wärme durch. Auch bei andern Körpern wird die Diathermansie durch die Rauheit der Oberfläche abgeändert, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daſs diese schon eine specifische Wirkung auf verschiedene Wärmestrahlen ausüben, die beim Steinsalz wegfällt. Als ein Beispiel führt Forbes folgendes an. Ein dünnes Glimmerblättchen mit natürlich glänzender Oberfläche lieſs bei Anwendung einer Locatelli'schen Lampe mit Glas, einer solchen ohne Glas und des 400° C. heiſsen Kupfers von 100 Strahlen 83,5; 74; 37, nach dem Reiben beider Flächen mit Schmirgelpapier aber 45,5; 51; 31,5 durchfallen, also wurde die Menge der vorher durchfallenden Strahlen in Folge der Rauheit vermindert um 54; 69; 85 Procent.

357) Um endlich auszumitteln, wie sich eine verhältniſsmäſsig kleine Anzahl von Furchen zu einer allgemeinen Rauheit der Oberfläche verhalte, wurden auf einer gut polirten Steinsalzplatte mit einer Diamantspitze feine Linien gezogen, so daſs sie Quadrate von 0,01 Lin. Seite bildeten, auf einer zweiten Linien von 0,005 Lin. Abstand und auf einer dritten Quadrate von 0,005 Lin. Seite. Nennen wir diese A, B, C, so lieſsen sie von 100 Wärmestrahlen aus zwei verschiedenen Quellen folgende durch:

Wärmequellen.	Durchgelassene Strahlen A	B	C
Locatelli-Lampe mit Glas	76,5	61,5	45,0
dunkelheiſses Kupfer . .	82,3	68,5	64,5

Von siedend heiſsem Wasser drangen verhältniſsmäſsig noch

mehr Strahlen durch, das Resultat im Ganzen führte aber zu der Betrachtung, ob nicht, wie beim Lichte, ein bloſses *Gitter*, statt der gefurchten Fläche, die gleiche Wirkung hervorzubringen vermöge. Gewöhnliche feine Drahtgeflechte zeigten sich nicht gut anwendbar, als aber auch die aus Paris erhaltenen feinsten, etwa 160 Drähte auf den Zoll gebenden, angewandt wurden, zeigte sich erstlich die Menge der hierdurch aufgefangenen Wärme unabhängig von der Art der Wärmequelle, und zweitens in demjenigen Verhältniſs abnehmend, als der Flächeninhalt der Drähte zu dem der Zwischenräume gröſser wurde. Letztere Gröſsen genau zu ermitteln ist übrigens sehr schwierig, und im Allgemeinen wird der Flächeninhalt der Drähte zu gering gefunden, wenn man ihn nach der Menge und Dicke der Drähte berechnet. Die Ursache hiervon liegt darin, daſs die Zwischenräume nicht genaue Quadrate bilden, wie Adie durch scharfe mikrometrische Messungen direct auffand, und auſserdem sind die Drähte an den Stellen, wo sie sich gegenseitig berühren, etwas platt gedrückt. Eine den *Metallgittern* gleiche Wirkung erzeugten solche, die aus feinen parallelen Baumwollenfäden bestanden, wenn diese einzeln oder in der Art paarweise angewandt wurden, daſs sie über einander gelegt regelmäſsige Quadrate bildeten. Um die zunächst sich hier anschlieſsende Frage zu beantworten, ob die Körper in feinster Pulverform bloſs mechanisch auf die durchgehenden Wärmestrahlen wirken, suchte Forbes zuerst auszumitteln, ob die Metalle in der That so undurchdringlich für Wärmestrahlen sind, als man voraussetzt, und der Versuch bestätigte dieses vollkommen, denn durch ein als Schirm eingebrachtes Blattgoldblättchen, dessen Dicke etwa 0,000003 Zoll betragen mag, drang auch nicht so viel Wärme, um die Nadel des Thermomultiplicators nur im mindesten abzulenken. Sehr schwierig war es aber, Metalle in Pulverform von der erforderlichen Feinheit zu erhalten, welches aufgestreuet dann ein Metallgeflecht von gröſster Unregelmäſsigkeit der Zwischenräume darstellen muſste. Inzwischen verschaffte sich Forbes dieselben, wie sie namentlich die falsche Bronze enthält, alle unfühlbar fein, mit Ausnahme des Zinns, streuete sie auf Steinsalzplatten oder brachte sie zwischen zwei solche ohne weiteres Bindemittel, welches durch seine eigene Einwirkung die Resultate verfälschen konnte. Die Ergebnisse der Versuche mit

verschiedenartigen Pulvern und ungleichen Wärmequellen, indem zugleich bei der Anwendung der gemeinen (Locatelli'schen) Lampe die angegebenen Schirme eingeschaltet waren, zeigt folgende Tabelle, worin die Zahlen die Procente der durchgelassenen Wärmemengen angeben.

Pulver	Lampe ohne Schirm Glas		Berufstes Steinsalz	Heifses Kupfer	Heifses Wasser
Gold, erste Versuchsreihe	58,0	. . .	50,5	. . .	. . .
zweite	7,4	. . .	. . .	4,1	. . .
Silber	25,3	24,2	. . .	21,8	. . .
Silber, erste Reihe . . .	27,7	. . .	18,5	. . .	. . .
zweite Reihe . .	29,5	. . .	22,1	. . .	25
Kupfer, erste Reihe . .	14,8	. . .	16,0	. . .	. . .
zweite Reihe . .	17,4	. . .	. . .	18,7	17
Kupfer	5,6	. . .	. . .	4,05	. . .
Zinn	27,0	26,0	. . .	25,5	. . .

Die Versuche wurden zwar mit gröſster Sorgfalt angestellt, aber Forbes bemerkt selbst, daſs sie die sich ergebenden paradoxen Resultate unwidersprechlich zu begründen vielleicht nicht genügen; auf jeden Fall lassen sich dieselben nicht erklären. Hiernach müſste nämlich Gold, Silber und Zinn[1] von leuchtender Wärme mehr als von dunkler durchlassen, Kupfer dagegen in einer Reihe sich auf gleiche, in zwei andern aber auf entgegengesetzte Weise verhalten, und gerade diesen eigenthümlichen Charakter des Kupfers glaubt Forbes mit Sicherheit ermittelt zu haben.

Weil hiernach der Schluſs, daſs die Wirkung des Beſsens der Flächen auf die durchfallenden Wärmestrahlen loſs von der Pulverform herrühre, wankend wurde, andere scheinungen aber andeuteten, daſs die meisten diathermanen rper in Pulverform gleich atherman waren oder wohl richer keine eigentliche Diathermansie zeigten, indem eine mit ann- oder Citronensäurepulver bestreute Fläche fast ebenso d Wärme durchzulassen schien, als eine mit Steinsalzpulver treute, wonach also, wie beim Lichte, die Adiathermanie

1 Beim Zinn ist der Unterschied unbedeutend und konnte wohl ge von Beobachtungsfehlern seyn.

eine Folge zahlloser Zerstreuungen und Interferenzen der Wärmestrahlen seyn müfste, so war es um so nothwendiger, dieses Problem noch weiter zu verfolgen. Letzteres wurde besonders durch folgenden Versuch bestätigt. FORBES verfertigte sich ein unregelmäfsiges Netz aus feinen *Glasfäden*, liefs dann die Wärmestrahlen einer Locatelli'schen Lampe durch eine dicke Glasplatte, von dieser aber durch das Glasnetz fallen, und fand durch letzteres einen Wärmeverlust von 52,5 Procent erzeugt, obgleich nach den Versuchen von DE LA ROCHE und MELLONI die bereits durch Glas gedrungenen Strahlen beim abermaligen Durchfallen durch Glas nur unmerklichen Verlust erleiden[1]. Da es zu viele Zeit erfordert haben würde, diese Aufgabe in ihren einzelnen Theilen weiter zu verfolgen, so entschlofs sich FORBES zuerst, den Durchgang der von verschiedenen Wärmequellen ausgehenden Strahlen durch Pulver anderer, nicht metallischer oder wenigstens nicht regulinisch metallischer, ungleicher Körper durch vorläufige, wenn auch nicht definitiv entscheidende Versuche auszumitteln. Die folgende Tabelle enthält in Procenten die Menge der durchgelassenen Strahlen, wobei die Pulver allezeit aufgestreut, zwischen zwei Steinsalzplatten eingeschlossen, diese aber an den Rändern verklebt und auf Diaphragmen von Karten befestigt waren. Bei der Anwendung der Lampe ohne Glasschornstein (Locatelli'sche) waren, wie oben, die in der Tabelle genannten Schirme eingeschaltet. Uebrigens wurden, so wie auch oben, zu den verschiedenen Versuchsreihen nicht dieselben, sondern andere mit Pulver bestreute Platten verwandt, so dafs die Resultate nicht mit einander, sondern blofs unter sich vergleichbar sind.

1) FORBES erwähnt, dafs Wärmestrahlen von heifsem Kupfer und heifsem Wasser *unter denselben Umständen* nur 56 und 58 Procent verloren hätten, da doch eine dünne Glasplatte diese Strahlen fast gar nicht durchlasse. Allein hierbei konnten die Umstände nicht ganz gleich seyn, denn sonst hätte die Glastafel eingeschaltet seyn müssen, durch welche aber diese Strahlen gar nicht oder in wahrscheinlich unmefsbar geringer Menge dringen konnten.

Gemeine Lampe

Pulver	Glas		Berufstes Steinsalz	Dunkles Kupfer	Heifses Wasser
Alaun, erste Reihe . .	17,0	. . .	. . .	17,1	. . .
zweite Reihe . .	15,2	. . .	. . .	13,0	. . .
Citronens., erste Reihe	29,0	. . .	30,0	33,0	31,5
zweite Reihe	12,9	. . .	. . .	8,7	. . .
Steinsalz, erste Reihe	12,8	13,4	11,8	11,3	. . .
zweite Reihe	31,5	. . .	. . .	29,2	. . .
Schwefel	50,0	. . .	. . .	44,7	. . .
Mennig	30,2	. . .	. . .	34,0	. . .
Bleiglanz	26,3	. . .	22,4	. . .	. . .
Holzkohle	5,0	. . .	. . .	9,0	. . .
— erste Reihe . .	11,4	. . .	13,9	. . .	. . .
— zweite Reihe	15,1	. . .	. . .	16,0	17,0
— dritte Reihe . .	3,2	. . .	. . .	3,5	. . .
Kalk, erste Reihe . . .	30,5	. . .	. . .	34,5	. . .
— zweite Reihe . . .	15,5	15,6	18,4	17,9	. . .
— dritte Reihe . . .	27,5	. . .	. . .	32,0	. . .
kohlensaure Magnesia .	8,3	. . .	12,6	. . .	. . .

Ohne die Folgerungen aufzusuchen, die sich aus diesen gefundenen Gröfsen entnehmen lassen, verdienen vorzugsweise noch die Procente der aus verschiedenen Quellen strahlenden Wärme, die durch nachfolgende Substanzen durchgelassen wurden, nicht unbeachtet zu bleiben.

Substanzen	Wärmequellen: Lampe ohne Schirm	Kupfer	Heifses Wasser
Goldschlagerhaut . . .	60,0	28,0	. . .
Cambrick-Papier . . .	8,6	10,5	. . .
Strohpapier	36,0	28,0	. . .
gesponnenes Glas . . .	47,5	44,0	42
Steinsalz, berufst . . .	30,2	58,0	67
rauh gemacht	49,0	73,0	76
polirt und gefurcht	49,5	73,0	77

Forbes stellt die wichtigsten, aus den hier mitgetheilten Versuchsreihen erhaltenen Resultate zur leichteren Uebersicht zusammen. Hiernach findet man die Eigenschaft, die sogenannte *dunkle Wärme leichter durchzulassen* (dem Durchgange

des rothen Lichtes vergleichbar), 1) beim Holzkohlenpulver; 2) bei einigen erdigen Pulvern; 3) bei einfach unpolirten Flächen; 4) bei unregelmäfsig mit Schmirgelpapier geritzten Flächen; 5) bei polirten und dann fein gefurchten Flächen; 6) bei aufgeblättertem Glimmer. *Indifferent gegen die Art der durchgehenden Wärme* scheinen zu seyn: 1) Blattgold, als undurchdringlich für jede Art Wärme; 2) Metallnetze; 3) Fadennetze; 4) die meisten krystallisirten Körper in Pulverform, die fast ganz adiatherman sind. Sogenannte *leuchtende Wärme stärker durchlassend* (dem Durchgange des violetten Lichtes vergleichbar) sind: 1) einige Metallpulver; 2) gepulvertes Steinsalz und einige sonstige Pulver; 3) thierische Membranen. Beachtenswerth ist hierbei, dafs sogenannte dunkle Wärme von unvollkommen polirten Flächen am regelmäfsigsten reflectirt und auch durchgelassen wird. Im Ganzen sprechen alle diese Thatsachen für die Annahme von Wärmewellen und zugleich dafür, dafs diese um so kürzer sind, je mehr sie vom Leuchten zur Dunkelheit übergehn. Zugleich aber hält Forbes die Wärmewellen für bedeutend verschieden von den Lichtwellen, ohne dafs es jedoch bis jetzt möglich ist, über einen so dunklen und vielfach verwickelten Gegenstand etwas bestimmt festzusetzen.

358) So wie Forbes, hat auch Melloni zu seinen ausführlichen Untersuchungen noch einige kürzere Nachträge geliefert, welche theils Bestätigungen der früher gefundenen Resultate, theils Folgerungen enthalten, die sich aus ihnen ableiten lassen. Melloni und Biot[1] brachten in die polarisirten Wärmestrahlen zwischen die polarisirenden Glimmersäulen eine 7,5 Millim. dicke, senkrecht gegen die Axe der Doppelbrechung geschnittene Bergkrystallplatte, welche die Polarisationsebene beim Lichte rechts vom Beobachter drehte, und fanden, dafs sie auf die Wärmestrahlen einen gleichen Einflufs ausübte. Als sie über dieselbe noch eine zweite, gleich dicke Platte brachten, welche die Polarisationsebene beim Lichte links vom Beobachter drehte, zeigte sie eine gleiche Einwirkung auf die Wärmestrahlen, und beide Platten vereint hoben ihre entgegengesetzten Wirkungen auf, wenn ihre Axen genau zusammenfielen.

---

1 Aus Compte rendu Nr. 8. p. 194 in Poggendorff's Ann. XXXVIII. 202.

359) Bei den hier in einer möglichst kurzen Uebersicht mitgetheilten Untersuchungen über die Wärmestrahlung fällt im höchsten Grade die Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Lichtes und der Wärme auf, und man wird unwillkürlich veranlaſst, beide Potenzen mit einander zu vergleichen. Wollte man sich erlauben, aus dem oberflächlichen Anblicke der Thatsachen Folgerungen abzuleiten, so könnte man Licht und Wärme für identisch halten, allein es sind bereits oben (§. 77 ff.) bedeutende Gründe gegen diese Hypothese vorgebracht worden, welche aus den früher bekannten Erfahrungen hervorgehn, und es ist hier der geeignete Ort, diese Frage noch einmal zu erörtern. Wir dürfen annehmen, daſs die beiden Gelehrten, Melloni und Forbes, welche am tiefsten in die Untersuchung der Erscheinungen, wobei sich die Wärme dem Lichte am ähnlichsten zeigt, eingedrungen sind, die Frage über das Verhältniſs beider Potenzen gegen einander am reiflichsten und gründlichsten erwogen haben, und sie sind daher ohne Zweifel die competentesten Richter in dieser Sache. Melloni, obgleich der ifrigste Theilnehmer an dem gröſsten Theile seiner Versuche, Biot, sich früher für die Identität beider Wesen oder vielmehr für eine Verwandlung des Lichts in Wärme ausgesprohen hatte und jener daher geneigt seyn muſste, den Ansichn des Letzteren beizutreten, äuſsert sich dennoch sehr entchieden hiergegen. Um aber den eigentlichen Fragepunct geauer festzustellen, muſs in voraus zugestanden werden, daſs ie zuletzt erörterten Erscheinungen nicht füglich anders als s Undulationen erklärt werden können, und da die Undutionstheorie allein die Phänomene des Lichts consequent darstellen vermag, so folgt hieraus schon unmittelbar, daſs die rundlage beider Theorieen, der des Lichts und der Wärme, m Wesen nach identisch seyn muſs. Allein auch die Phänmene des Schalles beruhn auf Vibrationen, und es wird dench niemand bei einiger Kenntniſs der Sache und genügender higkeit des Nachdenkens zu der Folgerung zu vermögen yn, Schall und Licht in Beziehung auf das beiden zum unde liegende materielle Princip für identisch zu halten. Die hallwellen werden in allen wägbaren Körpern nach wenig rch deren eigenthümliche Beschaffenheit modificirten Gesetzen eugt und fortgepflanzt, und hören beim Mangel vorhandener gbarer Materie von selbst auf; zur Erklärung der Lichtphä-

nomene wird das Vorhandenseyn eines eigenthümlichen, überall verbreiteten Lichtäthers angenommen, und so erfordern die Wärmephänomene, der Analogie nach, gleichfalls das Vorhandenseyn irgend eines materiellen Substrates, weil ohne ein solches der Begriff von Undulationen von selbst wegfallen muſs. Hiernach ist also die eigentliche Frage die, ob nicht bloſs die Undulationen, auf welche wir einen groſsen Theil der Wärmephänomene zurückführen, sondern auch diejenige Wärme, welche auf eine anderweitige, sehr heterogene Weise sich verhält, auf eigenthümliche Vibrationen der gewöhnlichen materiellen Stoffe zurückzuführen sind, oder auf eine eigenthümliche Grundlage, einen Wärmestoff, und ob im letzteren Falle diese Basis mit dem Lichtäther identisch oder von eigenthümlicher Beschaffenheit ist.

360) Schon oben ist mehrmals erwähnt worden, daſs Melloni die Existenz eigenthümlich verschiedener Wärmestrahlen annimmt, die er *farbige* nennt, weil sie auf ähnliche Weise, als farbige Lichtstrahlen, von gewissen Körpern leicht durchgelassen werden, welche andere Wärmestrahlen nicht durchlassen, worauf eben die von ihm sogenannte *Diathermansie* beruht. Die schon hieraus hervorgehende Aehnlichkeit zwischen Licht und Wärme zeigt sich auch anderweitig, und Melloni[1] sagt daher am Ende seiner Hauptabhandlung: „aus „der Gesammtheit der Thatsachen über die strahlende Wärme „ersieht man, daſs dieses Wesen ganz wie das Licht fortge„pflanzt, zurückgeworfen, gebrochen und polarisirt wird, und „wenn diese Eigenschaften häufig unbemerkt bleiben, so muſs man dieses einem Mangel von Diathermanie bei den meisten „Körpern zuschreiben, oder der ganz besondern Weise, in „welcher ihre Absorption sich auf die Wärmestrahlen äuſsert.“ Einige Körper, als Luft und Steinsalz, lassen sowohl die Lichtstrahlen, als auch die Wärmestrahlen frei durch, andere absorbiren die Lichtstrahlen vollständig, z. B. schwarzes Glas, lassen aber gewisse Wärmestrahlen frei durch, noch andere sind für das Licht völlig durchgängig, fangen aber alle Wärmestrahlen vollständig auf. Das nämliche Verhalten zeigt sich hinsichtlich der Reflexion. Völlig weiſse Substanzen reflectiren oder absorbiren, je nach ihrer eigenthümlichen Beschaffen-

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 283.

heit, außerordentlich verschiedene Portionen von Wärme, absorbiren aber alle Arten Lichtstrahlen auf gleiche Weise; denn sonst würde sich bei ihnen Färbung zeigen, welche nothwendig zum Vorschein kommen müßte, wenn einige Farbenstrahlen mehr als andere reflectirt oder absorbirt würden. Aehnliche Unterschiede zeigen sich bei den Polarisationsphänomenen; der wesentlichste Punct aber, welchen Melloni mit Recht hervorgehoben hat, ist folgender. Alle Körper werden durch strahlende Wärme heiß, behalten die erhaltene Wärme noch eine Zeit lang nach gänzlicher Entfernung der Quelle, und geben sie nur durch Strahlung oder Mittheilung an umgebende Körper wieder ab, bei den meisten Körpern aber verschwindet das absorbirte Licht augenblicklich und nur wenige halten es so zurück, daß sie nachher im Dunkeln leuchten[1]. Endlich aber verändern die absorbirten Wärmestrahlen gänzlich ihre Natur. Statt einer unmeßbar schnellen Bewegung werden sie festgehalten, strahlen größtentheils nicht mehr, pflanzen sich unmerklich langsam nach allen Richtungen in den Körpern fort und gehen zu andern berührenden Körpern über. So lange also die Strahlen beider Wesen sich frei bewegen, zeigen sie sich gleich in ihrem Verhalten, sie zeigen sich aber augenblicklich höchst verschieden, sobald der Gang ihrer Strahlung irgend eine Hemmung erfährt, sey es an der Oberfläche oder im Innern der Körper.

361) Wie sich aus dem Gesagten ergiebt, stellt Melloni die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten beider Wesen, des

---

1 Melloni hat hierbei die *Phosphoren* durch Insolation im Auge, allein bei diesen kann man nicht sagen, daß sie das aufgenommene Licht wieder abgeben, zumal da das nachher ausstrahlende phosphorische Licht oft von einer andern Färbung, als das aufgenommene ist; vielmehr gilt das Phosphoresciren für eine Folge eingeleiteter chemischer Veränderung, und hiernach muß dieser wesentliche Unterschied für einen absoluten gelten, sofern die absorbirten Wärmestrahlen festgehalten, die absorbirten Lichtstrahlen aber sofort gänzlich vertilgt werden. Vergl. Art. *Licht*. Bd. VI. S. 250. Aber auch angenommen, das Phosphoresciren bestehe in einem Wiedergeben des aufgenommenen Lichtes, so bleibt doch der Unterschied höchst auffallend und die Verschiedenheit unverkennbar wesentlich, insofern die Wärmestrahlen in gleichem quantitativen Verhältnisse von allen Körpern aufgenommen und wiedergegeben werden, die Lichtstrahlen aber gänzlich verschwinden oder nur von einigen Körpern in sehr geringer Menge wieder ausströmen.

Lichts und der Wärme, zusammen, ohne nur zu versuchen, durch eine angemessene Hypothese die eben aus dem Gegensatze dieser Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten hervorgehenden Schwierigkeiten zu beseitigen; denn sie würden nicht statt finden, wenn die Phänomene der Wärme von denen des Lichts ebenso verschieden wären, als die des Schalles, und sie würden von selbst wegfallen, wenn gar keine Verschiedenheit statt fände. Nach beiläufigen Aeufserungen ist Melloni nicht abgeneigt, einer von Ampère[1] zur Erklärung aufgestellten Hypothese beizupflichten, und bei einer Gelegenheit spricht er dieses bestimmt aus[2]. Hiernach besteht die strahlende Wärme aus Wellen, welche bei dunklen Quellen länger als die Lichtwellen sind, aber bei Quellen, die zugleich wärmend und leuchtend wirken, giebt es immer eine Gruppe von Wellen, die gleichzeitig beide Eigenschaften des Leuchtens und Wärmens besitzen. Hiernach fiele der wesentliche Unterschied zwischen strahlender Wärme und Licht weg; eine grofse Menge Aetherwellen würden auf unsern Körper fallend das Gefühl der Wärme erregen, eine geringere Anzahl derselben aber die Eigenschaft besitzen, die Retina des Auges in eine gewisse schwingende Bewegung zu setzen, um das Sehen zu erzeugen. Nun ist aber bekannt, dafs die Wärmestrahlen einer dunklen Wärmequelle nicht durch Wasser dringen; der Durchgang derselben fängt erst allmälig an, wenn die Wärmequelle leuchtend wird, und ist auch dann immer nicht bedeutend, weil das Wasser zu den wenig diathermanen Körpern gehört; wir dürfen daher nach Ampère annehmen, dafs die aus einer leuchtenden Wärmequelle ausgehenden Wärmestrahlen durch die Feuchtigkeiten des Auges absorbirt werden und dafs blofs oder fast allein die leuchtenden zur Netzhaut des Auges gelangen.

362) Die Idee, von der ungleichen Diathermanie diaphaner Körper eine Anwendung auf die Absonderung der Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen leuchtender Wärmequellen durch die Flüssigkeiten des Auges zu machen, ist zwar höchst sinnreich, allein man darf sich dennoch nicht verleiten lassen anzunehmen,

---

1 Biblioth. univ. T. XLVIII. p. 225. Poggendorff's Ann. XXVI. 161. Ann. de Chim. et Phys. 1835. Avril.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LX. p. 402 u. 418. Poggendorff's Ann. XXXVII. 486.

dafs hierdurch eine nur irgend genügende Erklärung der Sache gegeben sey[1]. Für gleich darf man die Wärmewellen und Lichtwellen schon deswegen nicht annehmen, weil eben in dem gegebenen Falle die ersteren absorbirt, die letzteren aber durchgelassen werden. Wir können aber, wenn wir uns auch blofs auf die Verschiedenheiten in den Erscheinungen der Strahlung beschränken, den Unterschied nicht füglich anders erklären, als wenn wir neben einem eigenthümlichen Lichtäther auch einen *eigenthümlichen Wärmeäther* annehmen, und ist dieses einmal zugestanden, dann verlieren die Unterschiede der Strahlungen beider ihr Auffallendes und folgen nothwendig aus der Annahme. Melloni theilt diese Ansicht vollkommen, und obgleich er zugesteht, dafs mehrere Erscheinungen sich auf eine Identität beider zurückführen lassen, so giebt es doch andere, bei denen dieses unmöglich ist. Hierher gehört nach ihm die bereits (§. 71.) erwähnte Verrückung des Maximums der Wärme im Lichtspectrum. Ist letzteres durch ein Steinsalzprisma gebildet, so liegt das Maximum der Wärme über die rothen Strahlen hinaus, eine zwischengebrachte Wasserschicht rückt dasselbe aber desto weiter nach den brechbarern Lichtstrahlen, je dicker sie ist; eine 4 Millim. dicke bringt es in die rothe Zone und eine 300 Millim. dicke sogar in die grüne. Eine Glasplatte leistet in geringerem Grade dasselbe, in beiden Fällen aber bleiben die Verhältnisse der Intensität des Lichts in den einzelnen Theilen des Spectrums wegen vollkommener Diaphanie der eingeschalteten Körper unverändert. Bringt man statt dessen diaphane gefärbte Körper der verschiedensten Art dazwischen, so verschwinden gewisse farbige Lichtstrahlen gänzlich, die Wärmestrahlen werden ungleich geschwächt, aber das Maximum der Wärme und die einzelnen Zonen zu beiden Seiten desselben

---

1 Die angegebene Hypothese führt zu einer andern, die eine bis jetzt unerklärte Thatsache, das Nichtsehen gewisser Farben, wo nicht zu erklären, doch an analoge Erscheinungen zu knüpfen vermöchte. Wollte man nämlich annehmen, dafs gewisse Flüssigkeiten ohne Färbung für gewisse Lichtstrahlen diaphan, für andere adiaphan wären, so würde aus dieser Eigenschaft, die das Licht mit der Wärme gemein hätte, die bekannte *Achrupsie* abzuleiten sein. Vergl. Art. *Sehen*. Bd. VIII. S. 763. Versuche zur Bestätigung oder Widerlegung dieser Hypothese liefsen sich leicht anstellen, es sind mir aber keine solche bekannt, und höchst wahrscheinlich findet die Sache selbst nicht statt.

behalten dieselbe Lage, als wenn die nämlichen, von den Sonnenstrahlen durchdrungenen Körper ungefärbt sind. Hieraus folgt also, daſs Licht und strahlende Wärme ihre unmittelbare Entstehung zwei verschiedenen Ursachen verdanken, ohne damit jedoch die Undulationstheorie bei dem einen oder dem andern auszuschlieſsen. Hiernach wird es dann auch möglich seyn, Licht und Wärme vollkommen zu trennen. Die einzigen Substanzen aber, womit dieses möglich war, sind Wasser und eine gewisse Art mit Kupfer gefärbtes grünes Glas. Das reine Licht, welches durch letzteres durchgelassen wird und viel Gelb besitzt, aber dennoch eine blaugrüne Farbe hat, wirkt nicht erwärmend auf die empfindlichsten Thermoskope, selbst wenn man dasselbe durch eine Linse so concentrirt, daſs es gleichen Glanz, wie das Sonnenlicht, zeigt.

363) Kommen wir noch einmal auf Ampère's Hypothese (§. 16) zurück, so findet dieser allerdings die *langsame Wärmeleitung* in den verschiedenartigen Körpern mit der Hypothese, daſs auch diese durch Undulationen geschehen solle, nicht wohl vereinbar, sucht diese Schwierigkeit aber dadurch zu beseitigen, daſs er annimmt, es seyen hierbei bloſs die Atome thätig, woraus nach seiner Ansicht die Molecüle der Körper bestehen; allein theils ist es eine bloſse, durch keine entscheidenden Gründe unterstützte Hypothese, wonach die bis jetzt als einfach betrachteten Molecüle aus Atomen zusammengesetzt seyn sollen, anderntheils ist es noch mehr rein hypothetisch, daſs die Wärmewellen bloſs durch die Atome fortgepflanzt werden sollen, und findet noch obendrein auch darin, daſs alle Wellenbewegungen eine groſse Geschwindigkeit haben und eine desto gröſsere, je feiner und compacter die sie fortpflanzenden Medien sind, ein bedeutendes Hinderniſs, ein ganz unübersteigliches aber in dem Umstande, daſs nicht die Atome, sondern die Molecüle durch die in ihnen strömende Wärme mehr von einander entfernt werden.

364) Forbes[1] scheint die eben mitgetheilten Aeuſserungen Melloni's wenigstens theilweise miſsverstanden zu haben, als ob darin Argumente gegen die Undulationstheorie des Lichtes und der Wärme enthalten wären, da es sich doch bloſs

1 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLVI. p. 246. Poggendorff's Ann. XXXVII. 501.

um einen bestehenden Unterschied zwischen beiden Wesen handelt. Das Hauptargument des französischen Physikers, welches aus der Thatsache hergenommen ist, dafs die Strahlen der Wärme und des Lichtes getrennt werden können, beweist nach seiner Ansicht nichts weiter, als dafs Licht nicht auch Wärme sei, was aber auch aus andern Erfahrungen noch besser hervorgehe. Aufserdem pafst nach FORBES dieser nämliche Einwand auch auf die verschiedenen Arten von Licht, denn z. B. rothes Glas ist undurchdringlich für die gelben Strahlen, läfst aber die rothen durch. Hiergegen bemerkt aber POGGENDORFF mit Recht, dafs dieses eine Folge der verschiedenen Brechbarkeit der ungleichfarbigen Lichtstrahlen sey, statt dafs Licht und Wärme ungleich absorbirt werden, obgleich ihre Brechbarkeit unverändert bleibt. Hält man vor oder hinter ein gegebenes Prisma eine farbige Substanz, so werden alle übrige Lichtstrahlen, aufser die gleichfarbigen, ganz oder theilweise verschluckt, allein das Brechungsverhältnifs aller durchfallenden, sowohl der gleichfarbigen, als auch der ungleichfarbigen, wird dadurch gar nicht geändert. Alle Lichtwellen, obgleich mehr oder weniger brechbar, können daher dem nämlichen Lichtäther zugehören, wenn aber die Wärmestrahlen, wie auch umgekehrt alle Lichtstrahlen, gänzlich verschwinden, während im erstern Falle alle oder die meisten Lichtstrahlen, im andern die Wärmestrahlen bleiben, ohne dafs in beiden Fällen die Brechungen eine Aenderung erleiden, so müssen sie verschiedenen, wenn auch einander ähnlichen, Aetherarten zugehören. Da die Interferenz der Wärmestrahlen noch nicht aufgefunden ist, so soll nach FORBES die Polarisation und Doppelbrechung die einzige Stütze der Hypothese seyn, wonach die Wärmestrahlen aus Undulationen, und zwar aus transversalen, bestehen, die ihrem Wesen nach identisch sind mit denen des Lichts. POGGENDORFF erinnert hiergegen, dafs die Interferenzen nicht für transversale Vibrationen entscheiden würden, da sie auch bei longitudinalen statt finden könnten. Die beiden genannten Erscheinungen begründen übrigens das Vorhandenseyn der Undulationen bei der Wärme ebenso, als beim Lichte; wie weit aber die Identität derselben auszudehnen sey, ist dadurch noch nicht ausgemacht. Soll sich dieselbe blofs auf die Form und die wesentliche Art des Verhaltens beziehn, so ist hiergegen nicht wohl etwas einzuwenden, wollte man sie aber auch auf das beiden zum Grunde lie-

gende materielle Substrat ausdehnen, so wäre dieses wohl zu viel gefolgert, denn der grofsen Uebereinstimmung zwischen den Schallwellen und Lichtwellen ungeachtet sind die Stoffe, worin beide erzeugt werden, sehr von einander verschieden.

365) Durch die in neuester Zeit so oft wiederholten, mit der gröfsten Sorgfalt und mit den feinsten Mefswerkzeugen angestellten Versuche sind wohl alle Physiker zu der Ueberzeugung gelangt, dafs die Wärmestrahlung auf Undulationen beruht, ähnlich denen, welche die Phänomene des Lichtes erzeugen. Hieran knüpft sich dann die Folgerung, dafs die Wärmewellen ebenso gut, als die Licht- und Schallwellen, *Interferenzen* erzeugen müssen, und hierauf bezieht sich auch die oben mitgetheilte Aeufserung von Forbes. Es liegt aber in der Natur der Sache, dafs es äufserst schwierig seyn mufs, die Interferenzlinien für die Wärmestrahlen aufzufinden, denn sie können nicht anders als sehr schmal seyn, und dann steht uns kaum ein thermoskopischer Apparat zu Gebote, welcher räumlich so feine Gröfsen zu messen im Stande seyn könnte, um so weniger, als sie wegen Mangels an festen theoretischen Bestimmungen blofs durch Probiren gesucht werden müfsten. Nicht blofs Forbes setzt daher als bekannt voraus, dafs sie bis jetzt noch nicht aufgefunden worden sind, sondern auch Melloni[1] bezweifelt zwar keineswegs ihre Existenz, glaubt aber zugleich, es sey noch keine einzige Thatsache vorhanden, aus welcher sich irgend ein directer oder indirecter Beweis ihres Aufgefundenseyns hernehmen lasse. Der Einzige, welcher wirkliche Interferenzen der Wärmestrahlen wahrgenommen zu haben versichert, ist Matteucci[2]. Dieser liefs die Strahlen einer glühenden eisernen Kugel durch zwei Oeffnungen in einer Platte fallen, welche nur 1 Millim. Durchmesser hatten und deren Mittelpuncte nur 2 Millim. von einander abstanden. Der Durchmesser der eisernen Kugel betrug 45 Millim. und ihr Abstand von der Platte 80 Millim. Auf der anderen Seite der Platte in einer Ebene mit den Löchern befand sich die Kugel eines empfindlichen Luftthermometers von 12 Millim. Durchmesser, deren beide Hälften versilbert waren, mit Ausnahme eines zwi-

1 Poggendorff's Ann. XLIII. 282.

2 Annali delle Scienze ect. 1832. Apr. Biblioth. univ. T. L. p. 1. Poggendorff's Ann. XXVII. 462.

schen ihnen befindlichen schmalen geschwärzten Streifens von 1 Millim. Breite. Das Thermometer mit seinem Index aus roth gefärbter Schwefelsäure war in Achtel Reaumür'scher Grade getheilt, deren Hälfte sich genügend schätzen liefs. Nach der Stellung der geschwärzten Zone desselben, der Mitte beider Oeffnungen gegenüber oder wenig seitwärts gegen diese, nahm MATTEUCCI Unterschiede wahr, die 1° R. betrugen, indem das Thermometer regelmäfsig zwischen $16\frac{1}{8}°$ und $17\frac{1}{8}°$ variirte. ARAGO bemerkte gegen diese Angabe, dafs die grofse Fläche der glühenden Kugel die Entstehung der Interferenzen schwerlich gestatte, auch begreift man in der That nicht, wie sie auf die angegebene Weise entstehen könnten, MATTEUCCI will aber diesen Einwurf nicht gelten lassen und hat auch später die nämlichen Versuche wiederholt[1], wobei er sich jedoch eines durch den elektrischen Strom glühenden Platindrahtes bediente und gleiche Resultate erhielt. Es scheint, als liefsen sich die Wärmeinterferenzen leichter durch Reflexion erzeugen und auffinden, was ich jedoch selbst unter verschiedenen Modificationen vergebens zu erreichen gesucht habe, noch leichter aber dürften sie durch Refraction der Wärmestrahlen mittelst einer Steinsalzplatte zu erhalten seyn, nach Art der Glasplatten, welche die Interferenzen der Lichtstrahlen zeigen.

366) Es dürfte hier der Ort seyn, die oben §. 99 abgebrochenen Untersuchungen über das eigentliche Wesen der Wärme wieder aufzunehmen, denn wir haben so eben die gesammten Aeufserungen dieses räthselhaften Etwas, was wir Wärme nennen, mit genügender Ausführlichkeit zusammengestellt und möglichst unparteiisch geprüft; die noch zu erörternden Erscheinungen der specifischen und latenten Wärme sind ungleich einfacher und beweisen zunächst nur die Existenz eines materiellen Wärmestoffes, was wir in Gemäfsheit der bisherigen Untersuchungen ohnehin als bewiesen voraussetzen. Dürfen wir gleich nicht hoffen, zu einer eigentlich richtigen und genauen Kenntnifs des Wärmestoffes zu gelangen, so wird es uns doch möglich sein, dasjenige zusammenzustellen, was nach den bisherigen Erfahrungen für ausgemacht gelten kann, um dadurch der Kenntnifs des eigentlichen Wesens der Wärme mindestens etwas näher zu kommen.

---

1 Bibliothèque univ. T. LVII. p. 74. Poggendorff's Ann. XXXV. 558.

367) Nach den bisher gepflogenen Untersuchungen unterliegt es keinem Zweifel, dafs die Wärme, ihrer Bewegung in den Körpern und ihrer Anhäufung in denselben ungeachtet, auf eine ähnliche Weise sich strahlend zeigt, als das Licht. Die fruchtbaren Bemühungen von Melloni und Forbes, der sonstigen nicht zu gedenken, haben die Wissenschaft um einen bedeutenden Schritt weiter gebracht und verschiedene sichere Anhaltpuncte gegeben, woran wir unsere Betrachtungen knüpfen können. Die Wärme, mag sie von leuchtenden oder dunklen Körpern ausgehen, also von Lichtstrahlen begleitet seyn oder nicht, strahlt auf sehr ähnliche Weise, als das Licht; die Wärmestrahlen jeder Art werden gebrochen, reflectirt und polarisirt, es mufs ihnen daher ein ätherisches Fluidum, wie dem Lichte, zum Grunde liegen, und die Erscheinungen der Wärmestrahlung müssen auf gleichen oder ähnlichen Undulationen beruhen, als die der Lichtstrahlung. Zu diesem Schlusse berechtigt uns die in der Physik nicht blofs erlaubte, sondern nothwendige Induction. Es liefse sich hierauf also leicht eine Theorie gründen, wollten wir einen Wärmeäther annehmen, welcher in seiner freien Existenz durch die verschiedenen, bereits angegebenen Ursachen in Undulationen versetzt würde und dann die Erscheinungen der Strahlung gäbe, zugleich aber durch die wägbare Materie angezogen, gebunden, in seiner Bewegung aufgehalten würde, sich nach dem specifischen Leitungsvermögen in ungleichen Körpern geschwinder oder langsamer bewegte, nach ihrer specifischen Capacität in gröfserer oder geringerer Menge aufgehäuft und in dieser Anhäufung bis zum Verschwinden seiner Aeufserungen gebunden würde; allein es stehen dieser Zurückführung der Wärmephänomene auf das Verhalten der sonstigen uns bekannten Materie bedeutende, zum Theil unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, die wir vorurtheilsfrei näher prüfen wollen. Diese Schwierigkeiten erwachsen hauptsächlich aus dem Umstande, dafs das Licht stets Wärme erzeugt, mithin Lichtstrahlen allezeit mit Wärmestrahlen verbunden sind, und dafs demnach sowohl die Brechung, als auch die Zurückstrahlung und Polarisation der Wärmestrahlen mit dem gleichen Verhalten der Lichtstrahlen eine sehr grofse, zur Gleichheit übergehende Aehnlichkeit haben. Es liegt daher zunächst die Frage zur Beantwortung vor, ob der Lichtstoff oder der Lichtäther mit dem Wärmestoff oder dem Wärme-

äther dem Wesen nach identisch sey oder nicht, und falls diese verneint werden müfste, eine zweite Frage, wie sich der Wärmeäther zum Lichtäther verhalte.

368) Die erste Frage ist bei weitem die leichteste. Die ruhende Wärme in den Körpern, insbesondere die latente, zeigt sich so sehr verschieden von dem durch Undulationen leuchtenden Lichtäther, dafs beide als identisch sich vorzustellen fast unmöglich ist. Ein Uebergang des Lichtes in Wärme vermittelst des Gebundenwerdens durch die gröbere Materie erscheint ohne Annahme einer Emission aus den leuchtenden Körpern als höchst unwahrscheinlich, letztere aber ist bereits aus andern Gründen verworfen; auch steht ihr das bedeutende Argument entgegen, dafs man sie nicht füglich mit dem seit Jahrtausenden bei der Sonne und bei den Fixsternen, wenn wir ihre ungeheure Entfernung berücksichtigen, stattfindenden unveränderten Leuchten zu vereinigen vermag. Ueberhaupt würden wir die schöne, in sich höchst consequente Theorie der optischen Erscheinungen aufgeben, wollten wir annehmen, dafs der überall verbreitete, sich selbst stets gleichbleibende Lichtäther in Wärme verwandelt würde, was mit den Phänomenen, die uns die diaphanen Körper darbieten, nicht wohl vereinbar ist und für die Wärmetheorie nicht den mindesten Vortheil bringt; denn warum sollen wir neben dem Lichtäther nicht auch ein ätherisches Wärmefluidum annehmen, so gut als wir ein elektrisches und ein magnetisches Fluidum anzunehmen gezwungen sind? Wahrlich, die Natur ist nicht so arm in ihren Productionen, als so viele Physiker sie so gern machen möchten. Selbst auch dann, wenn die Wärme, wie das Licht, strahlend ist, zeigen sich beide als wesentlich verschieden. Hauptsächlich gehört hierher die chemische Wirksamkeit des Lichtes, die in dieser eigenthümlichen Art den Wärmestrahlen nicht eigen ist, obgleich die Wärme, jedoch ohne die Bedingung des Strahlens, sich chemisch wirksam durch Beförderung vielfacher Verbindungen und Trennungen zeigt, ohne dafs die Lichtstrahlen als solche diese nämlichen Wirkungen zu äufsern vermögen. Melloni[1], welcher das Verhalten der Wärme unter so verschiedenen Modificationen genau untersucht hat, verwirft in Gemäfsheit unbestreitbarer Thatsachen durchaus die Verwand-

1 Poggendorff's Ann. XLIV. 160.

lung des Lichtes in Wärme, und wenn er sich geneigt zeigt, Ampère's (§. 16) Hypothese beizupflichten, so darf diese Aeufserung wohl vorzüglich nur als eine Anerkennung des Scharfsinnes jenes berühmten Gelehrten gelten, um so mehr, als es sich dabei blofs um eine Erklärung des langsamen Fortganges der Wärme in Körpern, verglichen mit der Schnelligkeit der Strahlung, handelt. Bei einer weiteren Ausführung dieses Problems gesteht Melloni [1] allerdings zu, dafs manche Thatsachen mit der Identität des Lichts und der Wärme zwar vereinbar sind, andere aber zeigen nach seiner Ansicht evident, dafs beiderlei Phänomene Wirkungen zweier verschiedener Ursachen seyn müssen. Sein Beweis gründet sich hauptsächlich darauf, dafs verschiedene Substanzen die leuchtenden Lichtstrahlen durchlassen, die erwärmenden aber absorbiren, bis zu einem solchen Grade, dafs z. B. wenn die Lichtstrahlen durch Wasser oder eine besondere Art mit Kupferoxyd gefärbtes Glas gehen, die Wärmestrahlen gänzlich absorbirt werden, indem dann selbst das durch eine Linse concentrirte Licht hell leuchtet, aber gar nicht erwärmt [2]. Hiernach mufs es, wie er meint, andere das Licht erzeugende Strahlen geben, als diejenigen sind, welche erwärmen, weil bei der Gleichheit beider mit dem stärksten Lichte auch die gröfste Erwärmung verbunden seyn müfste. Beide, sowohl die Lichtstrahlen als auch die Wärmestrahlen, lassen sich für sich und von einander getrennt darstellen und müssen daher verschiedenen Undulationen zugehören. Diese Folgerung erhält noch mehr Gewicht, wenn man berücksichtigt, dafs die stärksten Wärmestrahlen unter gegebenen Bedingungen aufserhalb des Farbenspectrums liegen, mithin da, wo es keine Lichtstrahlen mehr giebt. Nehmen wir alle diese Thatsachen zusammen, so werden wir zur Vermeidung aller sonst sich darbietender Schwierigkeiten lieber einen eigenen Wärmeäther annehmen, als eigenthümliche, unter vielfachen Bedingungen nicht leuchtende, blofs erwärmende Undulationen des Lichtäthers. Diese Hypothese hat auf den ersten Blick nichts wider sich, es ergeben sich aber der Schwierigkeiten gar viele und sehr bedeutende, sobald man versucht, die sämmtlichen, so sehr verschiedenen Wärmephänomene mit ihr in Einklang zu bringen.

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 418. Poggendorff's Ann. XXXVII. 486.

2 Vergl. oben §. 71.

369) Eine Menge dieser Schwierigkeiten fällt jedoch von selbst weg, wenn wir die Wärmephänomene mit Consequenz unter sich erklären und nicht verlangen, andere ihnen vollkommen gleiche in der Natur zu finden. Wir müssen dieses schon dann als nothwendig zugestehn, wenn wir einen Wärmestoff eigener Art annehmen, und dürfen es um so eher, da auch das elektrische Fluidum zwar Aehnlichkeit mit dem magnetischen hat, beide aber dennoch grofse Verschiedenheiten unter sich zeigen und zugleich auch von der Wärme und dem Lichte verschieden sind, obgleich allen ein gewisses ätherisches Fluidum zum Grunde liegt, sie sich einander wechselseitig erregen und in gewissen, auf Aehnlichkeit deutenden, Verhältnissen zu einander stehn[1]. Der hypothetische Wärmeäther kann in Undulationen versetzt werden und dadurch die bekannten Phänomene hervorbringen, zugleich aber kann er an die Materie gebunden werden, so dafs er sich anhäuft, wie dieses beim Lichte der Fall wahrscheinlich nicht ist, und zwar je nach der eigenthümlichen Beschaffenheit der verschiedenen Körper in ungleichem quantitativen Verhältnisse, unter Umständen bis zum Verschwinden seiner Aeufserungen, als latente Wärme. Berücksichtigen wir dann ferner, dafs sich die Wärme als durchaus repulsives Princip zeigt, so wird es nicht schwer, einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Wärmestoff und dem Lichtäther auszufinden. Letzterer ist durch das Universum verbreitet und seine Undulationen erzeugen die bekannten optischen Erscheinungen, der Wärmestoff aber, gleichfalls ein ätherisches Fluidum, wird in seiner Expansion durch die Anziehung gegen die wägbare Materie bedingt, mufs sich demnach in den Körpern anhäufen, diese aber wieder verlassen, hauptsächlich wenn die Anziehung ihrer ponderabeln Molecüle eine Aenderung erleidet, oder wenn er in gröfserer Menge darin vorhanden durch andere, minder gesättigte stärker angezogen wird; seine Bewegung hierbei ist eine langsam fortschreitende, wenn er von Molecül zu Molecül übergehen mufs, und eine strahlende, wellenartige, wenn diese Molecüle fehlen oder zu weit von einander abstehen. Der Wärmestoff zeigt diese seine wesentlichen Eigenschaften, die Expansion und Attraction, in keinem Phänomene

1 Das elektrische Fluidum scheint mir das gröbste unter diesen zu seyn und dürfte somit den Uebergang von der expansibeln Fluidis zu den ätherischen bilden.

deutlicher, als bei der Verdampfung, wobei er die Flüssigkeiten verläſst, zugleich aber Theilchen derselben mit sich fortreiſst.

370) Bis so weit ist die Hypothese, wonach die Erscheinungen der Wärme auf ein ätherisches Fluidum mit Repulsivkraft seiner Molecüle unter sich und Anziehungskraft gegen alle andere Körper zurückgeführt werden, nichts weiter, als eine Vereinigung unter sich und mit anderweitigen ähnlichen übereinstimmender Thatsachen unter ein allgemeines Princip, und hat somit die nothwendige Bedingung der Wahrscheinlichkeit für sich. Die groſse Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der Lichtstrahlen und der Wärmestrahlen kann keinen Einwurf gegen die Zulässigkeit dieser Hypothese abgeben, denn warum soll es nicht ähnliche Stoffe mit übereinstimmenden Wirkungen geben? Die so sehr zum Beweise der Identität beider in Anspruch genommene stete Verbindung von Licht und Wärme verliert ihr Gewicht, wenn man die vom leuchtenden Phosphor ausgeschiedene geringe Wärme und insbesondere den Umstand berücksichtigt, daſs sich nach Melloni die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen gänzlich trennen lassen. Daſs glühende Körper, in denen eine unermeſsliche Menge Wärme angehäuft ist, Wärme ausstrahlen und daſs die hierdurch bedingten Wärmewellen zugleich den überall vorhandenen Lichtäther in Schwingungen versetzen, kann, als bloſse Thatsache aufgefaſst, kein Hinderniſs abgeben und scheint auch einer tiefer eingehenden Erklärung keine unüberwindlichen Schwierigkeiten in den Weg zu legen. Soll aber die Hypothese auf allgemeine Gültigkeit gegründete Ansprüche machen, so muſs sie nothwendig näher angeben, wie es zugeht, daſs mit den Strahlen der Sonne stets Wärmestrahlen verbunden sind, und diese Aufgabe bietet so viele und groſse Schwierigkeiten dar, daſs es anmaſsend seyn würde, sie vollständig lösen zu wollen. Ohne dieses zu beabsichtigen, mögen folgende Betrachtungen nur dazu dienen, die eigentliche Sachlage näher anzugeben.

371) Nach dem, was bis jetzt als ausgemacht gilt, können wir uns, wie es scheint, nur auf zweierlei Weise eine Vorstellung hiervon machen. Nach der ersten und einfachsten gehen die Wärmestrahlen von der Sonne aus, die Undulationen der Wärme begleiten die des Lichts und beide kommen ver-

eint auf der Erde an[1]. Ob die Wellen beider mit gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit fortschreiten, kann nicht entschieden werden, denn auch bei sehr ungleicher Geschwindigkeit müfsten die langsameren die schnelleren unlängst eingeholt haben und sie fortdauernd begleiten. Am einfachsten würde es dann seyn, die Sonne für einen im Zustande der stärksten Glühhitze befindlichen und somit sowohl Wärme- als auch Lichtstrahlen aussendenden Körper zu halten, welcher, im absolut leeren Raume befindlich und von keinem die Wärme absorbirenden Körper in hinlänglicher Nähe umgeben, seine hohe Temperatur nicht verlieren könnte, mithin stets leuchtend und erwärmend bleiben müfste. Hierfür entscheidet nicht blofs die Analogie mit irdischen, stark glühenden Körpern, sondern auch das geringe specifische Gewicht der Sonne, welches man leicht einer stupenden Glühhitze beilegen könnte[2]. Dafür zeugt ferner indirect die bis zur Erzeugung von Dampfform gesteigerte Glühhitze der Kometen und Feuerkugeln, die unserer Erde die

---

1 Dafs diese Vorstellung ganz verschieden von der oben (§. 72) bestrittenen ist, wonach die Wärmematerie durch die Lichtwellen fortgerissen wird, darf kaum bemerkt werden. Hier wird angenommen, dafs die Undulationen beider ätherischer Flüssigkeiten, des Lichts und der Wärme, mit einander fortschreiten.

2 Schon vor mehreren Jahren habe ich Newton's ältere Hypothese, wonach die Sonne ein stark weifsglühender Körper seyn soll, wieder hervorgehoben, s. Schweigger's Journ. Th. XXV. S. 17, und ich finde noch jetzt keinen Grund, hiervon abzugehen. Hierauf führte mich die wiederholte Beobachtung, dafs da, wo Sonnenflecken gewesen sind, sich nachher Streifen zeigen, welche frappant denen gleichen, die man bei dickflüssigen Massen nach dem Einsinken eines festen Körpers in denselben gewahrt. Die früher durch Herschel aufgestellte, von Vielen noch jetzt angenommene, Hypothese von einer um die Sonne angehäuften Lichthülle, aufser welcher wir dann noch eine Wärmehülle annehmen müfsten, scheint mir mit der Vorstellung eines so ausnehmend feinen und seiner Undulationen wegen höchst elastischen, überall im Raume verbreiteten Lichtäthers ganz unvereinbar, wie vor allen Dingen die Hypothese von Löchern in dieser, noch obendrein verdichteten, Lichthülle, die einen Blick auf den dunklen Kern gestatten sollen. Es ist in der That merkwürdig, dafs man einen auf so schwache Beweise gestützten Satz so lange unangefochten angenommen hat. Man will durch geblendete Fernröhre in einer Entfernung von 21 Millionen Meilen die eigentliche Beschaffenheit eines Gegenstandes genau wahrnehmen und vermag auf etliche Tausend Schritt schwarze Flächen nicht von Fensterscheiben zu unterscheiden.

Meteorsteine zuführen, der ursprünglich feurig-flüssige Zustand unserer Erde und sonstige Analogieen, die darauf führen, die im Weltraume befindlichen, noch unveränderten, kosmischen Massen für feurig-flüssig zu halten. Nehmen wir hinzu die sehr hellen Lichtstrahlen und die kräftigen Wärmestrahlen, welche gleichzeitig von intensiv weifsglühenden Körpern ausgehen, so stellt sich eine solche Uebereinstimmung zwischen den Wirkungen der Sonne und denen gewöhnlicher irdischer Körper heraus, dafs wir kaum Anstand nehmen könnten, der hiernach so einfachen Hypothese zu huldigen; allein bei näherer Betrachtung treten dennoch sehr gewichtige Schwierigkeiten hervor, die sich nichts weniger als leicht beseitigen lassen. Die Lichtstrahlen bestehen allerdings aus blofsen Undulationen des Lichtäthers, welche ihrer Natur nach eben so wenig, als die Wellen schallender Körper, eine Anhäufung gestatten; sowohl das Licht, als auch der Schall verschwinden augenblicklich mit dem Aufhören der Wellenbewegung, die Wellen der strahlenden Wärme aber werden zwar, wie jene, von den Körpern durchgelassen und reflectirt, häufen sich aber zugleich auch an, und während der strahlende Körper seine Wärme verliert, nimmt der bestrahlte dieselbe auf. Man könnte diesen Einwurf umgehen, wenn man sagte, irdische Körper, bei denen wir diesen Uebergang wahrnehmen, befänden sich nie in einem so vollkommen leeren Raume, als die Sonne, und der Uebergang der strahlenden Wärme bei den ersteren sey eine Folge der die glühenden Körper umgebenden, wenn auch noch so feinen, Materie und lasse sich daher nicht auf die Phänomene der Sonne übertragen. Hierdurch würden wir aber die gerade so wichtige einfache Analogie der himmlischen und irdischen Erscheinungen mit einer blofsen Hülfshypothese vertauschen, gegen deren Zulässigkeit noch obendrein der Umstand entscheidet, dafs sich die Wärmestrahlen der Sonne eben so, als die von irdischen Körpern ausgehenden, in den irdischen Körpern anhäufen. Wir können daher nicht wohl umhin, der Folgerung Raum zu geben, dafs die Wärme auf gleiche Weise von der Sonne strahlend ausströme, als von irdischen glühenden Körpern, verwickeln uns dann aber hierdurch in alle die Schwierigkeiten, welche oben gegen die Wärmestrahlung der Erde gegen den Himmelsraum geltend gemacht wurden. Allerdings gewinnt die Sache eine andere Gestalt, wenn wir die Verwandlung des

Lichts in Wärme verwerfen und einen eigenen Wärmeäther von eigenthümlichen Qualitäten annehmen; immerhin müfste aber auch dieser von der Erde zurückströmen, um nicht auf der Erde, ganz gegen alle Erfahrung, bis zur bleibenden unermefslichen Menge angehäuft zu werden; die vorhandene Menge dieses Aethers mufs bei der Sonne abnehmen und im Weltraume zunehmen, was, abgesehn von sonstigen Folgerungen, an sich schon gegen die Natur eines ätherischen Fluidums streitet.

372) Die zweite Vorstellung, die wir uns von der Verbindung des Lichts und der Wärme in den Sonnenstrahlen machen könnten, ist die, wenn wir annehmen, dafs die von der glühenden und dadurch leuchtenden Sonne ausgehenden Lichtundulationen keine Wärmestrahlen mit sich führen, sondern diese erst in der Atmosphäre und den irdischen Körpern erregen. Nach dieser, der durch Marschall v. Bieberstein aufgestellten (§. 83) sehr ähnlichen, Hypothese wäre im Raume blofs Lichtäther vorhanden, der Wärmeäther eines jeden Himmelskörpers aber, mehr der Anziehung zur gröberen Materie folgend, wäre in ungleichen quantitativen Verhältnissen an diesen, also im vorliegenden Falle an die Erde, gebunden, hätte das Maximum seiner Dichtigkeit im Centrum der Erde und erhöbe sich stets abnehmend bis an die Grenze der Atmosphäre, wo die letzten Theilchen desselben durch das Gleichgewicht ihrer Repulsion mit der Anziehung gegen die wägbare Materie zurückgehalten würden. Diese Hypothese läfst sich durch eine Menge nicht unbedeutender Analogieen unterstützen, vorzüglich wenn man berücksichtigt, dafs die Erregung der Wärmewellen durch die Undulationen des Lichtäthers mit andern Phänomenen sehr genau übereinstimmt. Der Lichtäther selbst wird durch die Wärmeundulationen glühender Körper in Bewegung gesetzt, warum sollte das umgekehrte Verhalten nicht statt finden? Auf gleiche Weise wird die Elektricität, der wir gleichfalls eine wellenartige Bewegung beizulegen wohl gezwungen sind, wenn wir die aufserordentliche Geschwindigkeit der dynamischen elektrischen Strömung vorstellbar machen wollen, durch Wärme erregt, und die elektrische Strömung ruft Wärme hervor (§. 218). Nach dieser Hypothese müfste dann die Wärmesphäre unserer Erde im Innern dieses Planeten die gröfste Dichtigkeit haben, weil dort die Anziehung gegen dieselbe am stärksten ist, und sie müfste von hier aus abneh-

mend an der Grenze der Atmosphäre ihr Mimimum erreichen[1], woraus die noch immer unerklärte Kälte in den höhern Regionen[2] als nothwendige Folge hervorginge. Nach eben dieser Hypothese würden ferner verschiedene Erscheinungen zwar eine andere Gestalt bekommen, zugleich aber unter einander selbst und mit dem sonstigen Verhalten der Körper mehr übereinstimmen. Wenn angenommen wird, dafs manche Gegenden unter der äquatorischen Zone ein aufserordentlich starkes Strahlungsvermögen haben, weil bei ihnen auf grofse Hitze am Tage eine ungewöhnliche und wahrhaft unglaubliche Kälte während der Nacht folgt, so wird dieses vorzügliche Strahlungsvermögen als ein nothwendiges Erklärungsmittel zu Hülfe genommen, ohne im mindesten die Ursache nachzuweisen, warum gerade dort die Strahlung vorzüglich stark seyn soll. Nimmt man dagegen an, dafs in jenen Gegenden die Sonnenstrahlen zwar von Wärmestrahlen aus der Atmosphäre begleitet sind, sofern in letzterer der Wärmeäther überall verbreitet ist, dafs aber ebendaselbst die Wärme des Bodens bedeutend in Bewegung gesetzt und durch die aufsteigende heifse Luft in die Höhe gehoben, mithin der Erdoberfläche in grofser Menge entzogen wird, so mufs nach dem Aufhören dieses Impulses ein Gebundenwerden der Wärme folgen, hieraus also eine bedeutende Kälte entstehen, und zwar um so mehr, je weniger Feuchtigkeit vorhanden ist, welche die erregte Wärme durch Erzeugung von Wasserdampf bindet, nachher aber im Thau der Erde wieder zuführt. Es ist offenbar ungleich leichter, die Abkühlung, welche durch den Schatten einer Wolke erzeugt wird, vom Aufhören der Vibrationen des Wärmestoffes auf der Erdoberfläche abzuleiten, als von einer plötzlich eintretenden Strahlung gegen den heiteren Himmel, welche, in den bezeichneten Gegenden auch am Tage statt findend

1 Hiermit stimmen die §. 291 erörterten Gesetze der Fortpflanzung der Wärme durch expansible Flüssigkeiten überein. Wollte man dagegen einwenden, dafs die Wärme in die höheren Regionen nicht durch Fortleitung, sondern durch Strahlung gelange, so mufs man zugleich zugeben, dafs die strahlenden Wärmewellen, so wie die Licht- und Schallwellen, im Fortgange abnehmen und endlich aufhören, und bei der mit der Höhe so bedeutend abnehmenden Wärme können wir füglich das Ende der Wärmewellen, die von unserer Erde ausgehen, in die Grenze unserer Atmosphäre setzen.

2 Vergl. Art. *Erde*. Temperatur der Atmosphäre. Bd. IV. S. 1008.

und bei Nacht in vorzüglichem Grade wirksam, nothwendig eine allgemeine Verminderung der Temperatur zur Folge haben müſste. Hieraus lieſse sich dann auch eine Erklärung des räthselhaften Phänomens entnehmen, worüber bereits [1] ausführlicher gehandelt worden ist, nämlich die hauptsächlich für Menschen empfindliche *Kälte* im Augenblicke des *Sonnenaufganges* und *Sonnenunterganges*. RICHARDSON [2] erzählt, daſs unter hohen nördlichen Breiten die im Freien befindlichen Personen eine plötzliche Kälte in dem Augenblicke empfinden, wenn der obere Sonnenrand sich über den Horizont erhebt. Der aufgestellten Theorie nach würde folgen, daſs der Anfang der Wärmeoscillationen in den oberen Regionen der Atmosphäre, wohin sich der Wärmestoff dann zieht, so wie das Aufhören dieser Oscillationen beim Untergange der Sonne die hierfür vorzüglich empfindlichen Nerven der Menschen afficire.

373) Es läſst sich hier noch eine Betrachtung anknüpfen, welche zwar auf sehr unbestimmten Thatsachen beruhet, aber dennoch einige Beachtung zu verdienen scheint. Wenn wir annehmen, daſs die Wärmestrahlen von der Sonne ausgehen und von da zur Erde gelangen, so müssen diese eben so auf den Mond fallen und von diesem gegen die Erde reflectirt werden, mithin müſsten die Mondstrahlen eine gleiche erwärmende Kraft besitzen, als die directen Sonnenstrahlen, weniger diejenige Gröſse, welche durch die gröſsere Entfernung und in Folge der Absorption durch die Mondoberfläche verloren geht. Unter den verschiedensten, hierbei möglichen Bedingungen wollen wir den einfachsten Fall annehmen, in welchem die Erde und der Mond mit der Sonne ein gleichschenkeliges Dreieck bilden, folglich die von der Sonne ausgehenden, gegen die Erde reflectirten Lichtstrahlen einen längeren Weg zurückzulegen haben, als diejenigen, welche von der Sonne unmittelbar zur Erde gelangen. Setzen wir die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde = 55000 Meilen = a, den Halbmesser der Sonnenbahn = 1, so beträgt die Länge des Weges, welchen die durch den Mond gegen die Erde reflectirten Strahlen zu durchlaufen haben, $1 + a$, und wenn die Intensitäten der Wärme-

---

1 Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 365.

2 Narrative of a second expedition to the shores of the Polar-Sea cet. By Franklin. Lond. 1828. 4. App. II.

strahlen sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, so giebt dieses das Verhältnifs $(1+a)^2$ zu 1^2, oder mit Weglassung der höheren Potenzen $1+2a:1$. Der Werth von a beträgt sehr nahe $\frac{1}{38}$, und die Intensität der reflectirten Strahlen würde also durch den Einflufs dieser Bedingung 0,95 der direct anlangenden betragen, mithin müfsten die vom Monde zur Erde gelangenden Strahlen ohne Concentrirung ein Thermometer um 9°, 5 C. steigen machen, wenn es in den Sonnenstrahlen um 10° C. steigt. Ungleich gröfser und zugleich selbst nicht einmal mit genäherter Genauigkeit bestimmbar ist der Einflufs der Absorption durch die Oberfläche des dunklen Mondkörpers. Nach Melloni's (§. 325) Versuchen reflectiren polirte Messing- und Bergkrystallflächen nur 0,44 der auffallenden Wärmestrahlen. Wollen wir also annehmen, dafs die Oberfläche des Mondes tausendmal weniger reflectirte, so würden durch die Mondstrahlen nur $0{,}00044 \times 9{,}5 = 0°{,}00418$ C. Wärme erzeugt werden, aber auch diese geringe Gröfse müfste durch Forbes wahrgenommen worden seyn, wenn wir anders seinen (§. 100) angegebenen Bestimmungen Vertrauen schenken. Auch diese Betrachtung liefert daher ein Argument, wenn auch nur ein schwaches, zur Unterstützung der Hypothese, dafs die Wärmestrahlen nicht unmittelbar von der Sonne ausgehen, sondern durch den Impuls der Lichtwellen in unserer Atmosphäre und unserem Erdkörper erst erzeugt werden, denn alsdann könnten wir annehmen, dafs die schwachen Strahlen des Mondlichtes diese Wirkung zu äufsern nicht vermöchten. Wir können die Wärmeintensität der Intensität des Lichtes nicht allgemein proportional setzen, wenn dieses auch für die Sonnenstrahlen ohne nähere Prüfung angenommen wird. Wäre dieses aber zulässig, so sind die Lichtstrahlen des Mondes 300000mal schwächer, als die des Sonnenlichtes im Mittage, und eine 30000fache Concentrirung der ersteren müfste also nahe 1° C. Wärme geben, was aber gleichfalls nach Forbes der Fall nicht ist.

Obgleich keine directen Beweise für die Hypothese, wonach die Wärmestrahlen nicht von der Sonne selbst ausgehen, sondern erst durch die Lichtwellen in der Atmosphäre und den irdischen Körpern erzeugt werden, sich aufstellen lassen, so giebt es dagegen auch keine gewichtigen Gegengründe gegen ihre Zulässigkeit, und sie empfiehlt sich noch aufserdem durch ihre

Einfachheit und durch den Umstand, dafs wir vermittelst derselben ein unnatürliches stetes Ausströmen des Wärmestoffes aus der Sonne ohne merkbare Abnahme ihrer Temperatur, so wie die wohl naturwidrig zu nehmende stete Wanderung des Wärmestoffes von der Sonne zur Erde und von dieser wieder rückwärts zu jener umgehen. Ein dagegen aufzustellendes Argument ist leicht zu widerlegen. Man könnte sagen, nach dieser Hypothese müsse die Wärme der Sonnenstrahlen in gröfseren Höhen wegen geringerer Dichtigkeit des dortigen Wärmeäthers weniger intensiv seyn, statt dafs die Thermometer eben dort stärker afficirt werden (§. 53). Dieser Einwurf läfst sich jedoch beseitigen, wenn man berücksichtigt, dafs die Dichtigkeit des Wärmeäthers in den Körpern, die wir den Sonnenstrahlen aussetzen, also auch in den dorthin gebrachten Thermometern, in jeder Höhe gleich ist und daher auch überall eine gleiche Intensität der Wärme durch die in ihnen erregten Wärmeundulationen erzeugt werden mufs; in der Luft selbst aber werden geringere Wärmemengen hervorgerufen, worauf eben die mit der Höhe zunehmende Kälte beruhet. Zur Anhäufung der Wärme in den von der Sonne beschienenen Körpern ist stets Wärme genug in der Umgebung vorhanden, und sie wird durch das Licht um so stärker hervorgerufen, je weniger dieses in Folge seines Durchganges durch die Luft geschwächt ist. Vorzugsweise aber wird man dieser Hypothese die durch so viele Autoritäten als erwiesen betrachtete Wärmestrahlung gegen den heitern Himmel entgegensetzen. Dieses Argument ist allerdings schwer zu widerlegen, wenn man einmal zugesteht, dafs diese Strahlung in der Weise statt findet, als gewöhnlich angenommen wird. Es läfst sich indefs Folgendes hierüber sagen. Viele mit dem *Aethrioskop* erhaltene Resultate beruhen sicher auf Täuschung. Es ist undenkbar, dafs in heiteren und windstillen Nächten bei vollkommen ruhender Luft die kalten Luftschichten nicht herabsinken sollten, um so mehr, wenn die Luft bei Tage durch ihre Expansion zum Aufsteigen vermocht ist[1]. Ein solches Niedersinken gewahrt man täglich im Winter in erwärmten Zimmern an Fenstern bei beträcht-

1 Das *Thauen* wäre hiernach einfach nur der umgekehrte Procefs des Aufsteigens der erhitzten, mit Wasserdampf beladenen Luft, welcher durch Abkühlung des am Tage erwärmten Bodens von selbst erfolgen müfste.

licher äufserer Kälte, und wollte man diese niedersinkenden Luftströme mit einem Aethrioskop auffangen, so würde man ganz gleiche Wirkungen wahrnehmen, die man doch schwerlich als Folge einer Strahlung betrachten dürfte [1]. Gesetzt aber auch, dieses reichte zur Erklärung aller Phänomene der Strahlung nicht hin, so mufs doch nothwendig die aus den höheren Regionen durch die Lichtstrahlen herabgeführte Menge des Wärmeäthers nach dem Aufhören dieses Impulses in die höheren Regionen wieder zurückkehren, und dieser Rückgang wäre dann die Strahlung. Dabei wird stets vorausgesetzt, dafs das Wärmefluidum durch zwei Kräfte sollicitirt wird, die seinen Molecülen eigenthümliche Expansivkraft und die nicht minder von ihnen unzertrennliche Anziehung gegen die Molecüle der wägbaren Materie; beide streben nach stabilem Gleichgewichte, und stellen dieses wieder her, wenn es durch irgend eine Ursache gestört ist.

Im Ganzen möge diese, vielen Erscheinungen leicht anzupassende, Hypothese als ein Versuch gelten, die verwickelten Functionen der Wärme aus einem andern Gesichtspuncte zu betrachten und unter sich selbst sowohl, als auch mit den bekannten Naturgesetzen überhaupt mehr in Einklang zu bringen, als bisher geschehen ist.

4) Wärmecapacität der Körper, specifische Wärme und relative Wärme.

374) Wenn irgend ein gegebener Körper eine gewisse Temperatur hat, die nach einer willkürlichen Thermometerscale gemessen = t seyn möge, ein anderer Körper aber eine hiervon abweichende, die nach derselben Scale gemessen = t' ist, und beide werden mit einander vereinigt, so zeigt die Wärme beider nach der Vereinigung ein sehr verschiedenes Verhalten. Sind zuerst die Körper einander gleich, also wenn man z. B. Wasser mit Wasser, Quecksilber mit Quecksilber, Eisen mit Eisen verbindet, so ist die Wärme dem arithmetischen Mittel der in den

1 Das Herabsinken kälterer Schichten tropfbarer Flüssigkeiten erfolgt mit solcher Feinheit, dafs man dadurch das Maximum ihrer Dichtigkeit aufzufinden vermag, s. §. 330, warum sollte es bei expansiblen Flüssigkeiten nicht gleichfalls statt finden? In beiden Fällen ist dann Ruhe nothwendige Bedingung, statt dafs für eigentliche Wärmestrahlung das Ruhen der Luft nicht erfordert wird.

Theilen früher vorhandenen gleich. Sind daher beide vereinte Massen einander gleich, so ist die Wärme T nach der Vereinigung

$$T = \frac{t + t'}{2},$$

sind aber die Massen verschieden und heifsen sie m und m', so ist

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}.$$

Beide Ausdrücke sind eigentlich identisch, sofern bei der ersten beide Massen der Einheit gleichgesetzt werden. Vereinigt man statt dessen zwei verschiedene Körper, so erhält man sehr abweichende Werthe = T', wobei T' bald gröfser, bald kleiner ist, als T. Hieraus folgt evident, dafs die Menge von Wärme (nach ganz eigentlich quantitativer Bestimmung, wenn man von einem willkürlichen Puncte der Thermometerscale, am besten vom Nullpuncte derselben, ausgeht), welche die Temperatur des einen gegebenen Körpers durch Hinzukommen vermehrt oder durch Wegnehmen vermindert, für gleiche Mengen von Graden ganz verschieden ist. Bezieht man dieses auf die Massen der Körper, die durch das Gewicht bestimmt werden, so erhält man dasjenige, was Wilke durch *eigenthümliche*, Crawford durch *comparative* Wärme oder *Wärmecapacität* der Körper, Baader durch *wärmebindende Kraft* bezeichneten, was man aber später specifische Wärme (*calor specificus;* chaleur specifique; *specific Caloric*) genannt hat. Herschel [1] bemerkt, dafs man lange vergebens gestrebt habe, den Grund dieser räthselhaften Erscheinung aufzufinden, bis endlich die atomistische Theorie einen Schlüssel zu ihrer Lösung darbot.

375) Der Erste, welcher diesen Unterschied der Körper auffand, war Boerhave [2], indem er durch Fahrenheit Mischungsversuche anstellen liefs; allein diese waren theils zu ungenau, theils wurden sie von ihm unrecht gedeutet, indem er glaubte, die Wärme der Mischung müsse der halben Differenz der Temperaturen beider verbundenen Massen gleich seyn, und sonach konnte er zu keinem genügenden Resultate gelangen.

1 Encyclop. metrop. Art. *Heat.* p. 304.

2 Elementa chemiae T. I. p. 296.

Der grofse Irrthum wurde sehr bald durch RICHMANN[1] verbessert, indem er das nach ihm genannte *Richmann'sche Gesetz* aufstellte, dafs $T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$ ist, woraus sich auch die Werthe von m' oder t' für ein bekanntes T auffinden lassen, vorausgesetzt dafs die Versuche sich mit absoluter Genauigkeit anstellen lassen. Es versteht sich jedoch von selbst, dafs dieses Gesetz nur für gleiche Körper, z. B. Wasser mit Wasser, Quecksilber mit Quecksilber u. s. w., gültig ist. Von weit richtigeren Principien ging BLACK[2] aus, indem er zwischen 1760 und 1765 nicht blofs das eben erwähnte Gesetz kannte, sondern auch die Methode der Vereinigung verschiedener Körper zur Auffindung ihrer specifischen Wärme anwandte, in welchem Bemühen ihm IRVINE[3] folgte. Die Bemühungen Beider wurden erst später durch CRAWFORD bekannt, nachdem WILKE[4] die Aufgabe im Jahre 1772 im weiteren Umfange behandelt hatte, dessen erhaltene Resultate um so gröfseres Aufsehen machten, je entscheidender sie in dem Streite über das eigentliche Wesen der Wärme waren. Zur Untersuchung führte ihn die Beobachtung, dafs der Schnee beim Schmelzen fortdauernd Wärme aufnimmt, ohne Erhöhung seiner Temperatur, woraus er schlofs, dafs die Mengen der in verschiedenen Körpern enthaltenen Wärme ungleich seyn könnten. Obgleich dieses Phänomen bekanntlich zur latenten Wärme gehört, so veranlafste es doch die Aufsuchung der specifischen Wärmecapacität, wobei WILKE auf folgende Weise verfuhr. Er erhitzte den gegebenen Körper bis zu einer gewissen Temperatur, tauchte ihn dann in ein gleiches Gewicht eiskalten Wassers, mafs die Erhöhung der Temperatur, und berechnete dann nach RICHMANN's Regel, wie viel Wasser von der Temperatur des eingetauchten Körpers zur Hervorbringung einer gleichen Temperatur, als die gefundene, erforderlich seyn würde; hierdurch erhielt er das gesuchte Verhältnifs zum Wasser. Nach der angegebenen Formel ist diese Menge

$$m' = m\frac{T - t}{t' - T}.$$

1 Nov. Comment. Petrop. T. I. p. 152. 168 ff.

2 Lectures on nat. phil. T. I. p. 79. 504.

3 Chemical Essays.

4 Neue Schwed. Abhandl. Leipz. 1784. T. II. p. 48. Journ. de Phys. T. XXVI.

WILKE erhitzte z. B. ein Goldstück bis 100° C., warf es dann in ein gleiches Gewicht eiskaltes Wasser und fand die Temperatur 5° C. Hier ist also m der Einheit gleich, T = 5, t = 0, t' = 100° C., mithin $m' = \frac{5}{95}$ oder $= \frac{1}{19}$, und also enthält das Gold nur $\frac{1}{19}$ so viel Wärme, als Wasser von gleicher Temperatur, oder die specifische Wärme beider verhält sich wie 1 : 19. WILKE giebt zu verstehn, daſs KLINGENSTIERNA ihn auf die Idee dieses Unterschiedes geführt habe, HERSCHEL[1] aber erfuhr von THOMSON, daſs nach einer Erzählung ROBISON's ein schwedischer Edelmann bei BLACK die Versuche um das Jahr 1770 sah und seinem Landsmann eine Nachricht davon mittheilte.

α) Methode der Mischungen.

376) Die angegebene Methode, verschiedene Körper mit einander zu vereinigen (*methodus mixtionis; méthode des mélanges; method of mixtures*) und die specifische Wärme aus der mittleren erzeugten zu bestimmen, wurde also zuerst durch BLACK und IRVINE in Anwendung gebracht, vorzüglich aber durch ADAIR CRAWFORD[2]. Sind zwei Körper, welche A und B heiſsen mögen, gegeben, nennt man ihre Massen, wie oben, m und m', ihre Temperaturen t und t', die gemeinschaftliche Temperatur T, und werden ferner ihre zu vergleichenden Capacitäten durch c und c', die in der Einheit der Masse jedes Körpers bis zu 0° enthaltenen absoluten Wärmemengen durch x und x' bezeichnet, so ist

$$mx + mct$$

die Gesammtmenge der Wärme im Körper A;

$$m'x' + m'c't'$$

die Gesammtmenge der Wärme im Körper B;

$$mx + m'x' + mct + m'c't'$$

die Gesammtmenge beider vor der Mischung;

$$mx + m'x' + (mc + m'c')\,T$$

die Gesammtmenge beider nach der Mischung; also

$$(mc + m'c')\,T = mct + m'c't'.$$

---

1 Encyclop. metrop. art. *Heat.* p. 304.

2 Experiments and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies, being an attempt to resolve these phaenomena into a general law of nature. Lond. 1779. sec. ed. 1788.

Dieser allgemeine Ausdruck läſst sich auf mehrfache Weise in Anwendung bringen. Ist zuerst die Frage, ob die Capacitäten der Körper sich für verschiedene Temperaturen nicht ändern, so muſs für gleiche Körper die Temperatur nach der Mischung das arithmetische Mittel aus den Temperaturen beider einzelner Körper seyn. Mischt man z. B. gleiche Mengen von Quecksilber, deren Temperaturen 100° und 50° sind, so ist $m = m'$, und $c = c'$ wird vorausgesetzt. Die Formel wird dann

$$T = \frac{1}{2}(t + t') = \frac{1}{2}(100° + 50°) = 75°.$$

Der Versuch bestätigt dieses Resultat, und es liegt darin also der Beweis, daſs nicht bloſs für Quecksilber, sondern auch für andere Körper die Capacitäten bei ungleichen Temperaturen unverändert bleiben. Neuere Untersuchungen haben zwar gezeigt, daſs dieses Gesetz nicht in aller Strenge richtig ist, denn es würde sich ein Unterschied zeigen, wenn man die Wärmemengen des Quecksilbers nach seiner Ausdehnung bestimmen wollte; immerhin ist dasselbe aber annähernd richtig, und zwar so genau, daſs es erst feinerer Versuche bedurfte, um die geringen Abweichungen wahrzunehmen.

Will man die Wärmecapacität zweier Körper vergleichen oder ihre *relative specifische Wärme* auffinden, so erhält man diese aus der Formel:

$$\frac{c'}{c} = \frac{m\,(T - t)}{m'\,(t' - T)}.$$

Auſser dem angegebenen Beispiele kühlte WILKE ein bis 86° C. erhitztes Stück Glas in einem gleichen Gewichte Wasser bei 0° C. ab und fand die Temperatur nachher = 12°,75. Hier ist also

$$m = m';\ t = 0;\ t' = 86^0;\ T = 12°{,}75,$$

mithin

$$\frac{c'}{c} = \frac{12°{,}75}{86° - 12°{,}75} = 0{,}174$$

oder die specifische Wärme des Glases ist = 0,174, wenn die des Wassers = 1 ist.

Man kann die Methode der Mischungen auch anwenden, wenn es sich darum handelt, hohe Temperaturen von Körpern zu bestimmen, deren Wärmecapacität bekannt ist. Hierüber

wurde oben bereits geredet [1], und wir wollen daher nur mit Beibehaltung der gewählten Bezeichnungen die Sache durch ein Beispiel erläutern. Nach der Formel ist

$$t' = \frac{(mc + m'c')\,T - mct}{m'c'};$$

für Glas, nach dem Versuche von Wilke, ist

$$m = m';\ t = 0;\ c = 1;\ c = 0{,}174$$

und

$$T = 12^{\circ}{,}75,$$

also

$$t' = \frac{1{,}174 \times 12{,}75}{0{,}174} = 86.$$

Die Anwendung dieses Verfahrens erfordert inzwischen eine so leicht sich darbietende Correction, dafs diese nicht wohl von einem sachkundigen Experimentator übersehn werden dürfte. Es wird nämlich nicht blofs das Wasser durch den hineingebrachten Körper erwärmt oder abgekühlt, sondern auch das Gefäfs, worin sich dasselbe befindet. Inzwischen ist es nicht schwer, die hierfür erforderliche Correction anzubringen, welche darin besteht, dafs man das Gefäfs nach seiner Masse und specifischen Wärme auf eine äquivalente Masse Wasser reducirt und sie der Masse des Wassers hinzuzählt. Ist die Masse des Gefäfses = (m), seine specifische Wärmecapacität = (c), die des Wassers = c, so ist die auf Wasser reducirte Masse $\mu = (m)\frac{(c)}{c}$, und indem man sie der Masse des Wassers hinzusetzt, erhält man statt m in der angegebenen Formel $m + \mu$, wofür man auch M setzen kann. Wird eine Reihe von Versuchen angestellt, so bleibt μ eine beständige Gröfse, die jederzeit zu m addirt werden kann, wenn letzteres auch wechselt, und sollte (c) unbekannt seyn, so kann man dieses vor dem Beginne der Versuche erst aufsuchen. Nach der Formel ist:

$$(c) = \frac{mc\,(T - t)}{(m)\,(t' - T)} \text{ und } (m)\frac{(c)}{c} = m\,\frac{T - t}{t' - T}.$$

Biot [2] theilt ein Beispiel von Crawford mit, welches von ihm auf Centesimalgrade reducirt ist. Crawford gofs 40 Un-

---

1 S. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1017.

2 *Traité*. T. IV. p. 699.

zen Wasser von 20°,0833 in ein Gefäfs von Weifsblech, welches 42°,916 erwärmt war, und fand nach einigen Minuten die Wärme = 20°,555. Hier ist also m = 40; t = 20°,0833; t′ = 42°,916; T = 20°,555, und daraus liefsen sich die einzelnen Werthe finden; es genügt aber, den Werth (m) $\frac{(c)}{c}$ als constante Gröfse zu erhalten, und dieser findet sich durch Substitution = 0,84; das untersuchte Gefäfs war also bei allen Versuchen 0,84 Unzen Wasser gleich zu setzen.

Eine zweite Quelle, woraus bedeutende Fehler dieser Art der Messungen entspringen, liegt in der Ausstrahlung und Einstrahlung der Wärme bei denjenigen Apparaten, die dazu verwandt werden. Am einfachsten läfst sich dieses Hindernifs, mindestens zum grofsen Theile, beseitigen, wenn man nach vorläufigen Versuchen die Erhöhung oder Verminderung der Temperatur ermittelt, welche durch die Mischung verursacht wird, und dann vor dem eigentlichen Versuche den Apparat um die Hälfte unter oder über diese Temperatur bringt, wonach sich also voraussetzen läfst, dafs demnächst durch Ausstrahlung an die Umgebung eben so viel verloren, als durch die Einstrahlung gewonnen wird, und beide Fehler sich somit ausgleichen[1]. Neuerdings hat Neumann[2] auf den Grund der Ausstrahlungsgesetze nach Fourier's Bestimmung die Mittel zur Correction dieses Fehlers angegeben, allein die genaue Auffindung der numerischen Werthe ist in den einzelnen Fällen mit sehr grofsen Schwierigkeiten verbunden[3]. Endlich versteht sich von selbst, dafs die vollständige Vereinigung der Körper zur genaueren Bestimmung ihrer anfänglichen und nachherigen Temperatur, so wie die Richtigkeit der gebrauchten Thermometer jederzeit zu berücksichtigen sey.

---

1 Man benennt diese Methode nach ihrem Erfinder Rumford's *Methode*. S. Gilbert's Ann. XLIV. 8.

2 Commentatio de emendanda formula perquam calores corporum specifici ex experimentis methodo mixtionis institutis computantur. Regiom. 1834. 4.

3 Beispiele der Anwendung beider Hülfsmittel zur Vermeidung der hieraus hervorgehenden Fehler findet man in den folgenden Untersuchungen mehrere.

β) Eis-Calorimeter.

377) Seit dem Jahre 1777 benutzten Lavoisier und Laplace[1] das von ihnen erfundene Eiscalorimeter[2] zur Bestimmung der specifischen Wärme der verschiedenen Körper. Die Anwendung dieses Apparates beruhet auf dem Principe, dafs das Eis eine gewisse Quantität Wärme bedarf, um in flüssiges Wasser verwandelt oder geschmolzen zu werden, und man schliefst daher aus der Quantität des geschmolzenen Eises auf die Menge des in dem Körper bei einer gewissen Temperatur enthaltenen Wärmestoffes, welchen er zum Schmelzen des Eises hergiebt, bis er selbst zur constanten Temperatur desselben, nämlich zum Nullpuncte der achtzigtheiligen oder hunderttheiligen Scale, gelangt ist. Biot bemerkt, dafs hierbei vorsichtig die Anwendung des tiefer als bis 0° C. kalten Eises vermieden werden müsse, weil sonst eine gewisse Quantität Wärme verwandt werde, um dasselbe bis zu dieser Temperatur zu erwärmen, und daher wendet man solches Eis an, welches gerade im Begriff ist zu schmelzen, so dafs man die Menge des abgegebenen Wärmestoffes aus der Quantität des geschmolzenen Wassers berechnen kann. Hiernach ist zugleich erforderlich, dafs man den Versuch nicht eher beginnt, als bis das geschmolzene Wasser anfängt abzutröpfeln, weil sonst eine Quantität desselben in den Zwischenräumen der Eisstücke zurückbleiben könnte. Obgleich das Eis, durch dessen Schmelzung man die ihm mitgetheilte Wärme zu messen beabsichtigt, gegen das Eindringen der Wärme von aufsen durch die Wandungen des Calorimeters vermittelst des umgebenden Eises geschützt ist, so läfst sich doch dem Eindringen der äufseren Luft in den inne-

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1780. Mémoires de Chim. T. I. Lavoisier Traité élém. de Chim. Par. 1805. T. II. p. 76. Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 75.

2 Vergl. *Calorimeter*. Bd. II. S. 9. Nachträglich bemerken wir, dafs Wedgwood in Philos. Trans. T. LXXIV. p. 371 verschiedene Einwendungen gegen die Brauchbarkeit dieses Apparates gemacht hat, die sich aber meistens auf die Form beziehn und auf Fehler, die zwar leicht zu begehn sind, von einem geübten und behutsamen Experimentator aber vermieden werden können. Inzwischen können wegen der grofsen Menge der zum Schmelzen des Eises erforderlichen Wärme nur beträchtliche Wärmemengen damit gemessen werden und in dieser Beziehung steht dieser Apparat dem neuerdings gangbareren Wassercalorimeter nach.

ren Behälter und der hierdurch zugeführten Wärme nicht vollständig begegnen. Das Verschliefsen mit einem polirten und daher die Wärmestrahlen stark reflectirenden Deckel ist zwar ein gutes Mittel, wenn die Versuche dieses gestatten, und vollständig könnten die hieraus erwachsenden Fehler vermieden werden, wenn die Versuche in einer Umgebung von genau 0° C. Temperatur angestellt würden, was jedoch nur selten angeht, im Ganzen aber ist der hieraus hervorgehende Fehler nicht grofs, insbesondere wenn die Temperatur der Umgebung nicht viel von 0° C. abweicht. Inzwischen räth Biot, ihn zu corrigiren, indem man zwei möglichst gleiche Calorimeter anwendet, deren einer blofs dem Einflusse der in sein inneres Gefäfs eindringenden Luft ausgesetzt ist, wodurch man in Stand gesetzt wird, diese Gröfse für sich zu finden und von der Gesammtwirkung beim andern Calorimeter abzuziehn. Ist man von der völligen Gleichheit beider nicht überzeugt, so darf man nur den Versuch doppelt anstellen und dabei die Calorimeter wechseln, um den aus der Ungleichheit entstehenden Fehler zu entfernen.

Unter der Voraussetzung, dafs die Menge der in einem Körper enthaltenen Wärme den Graden des Thermometers proportional ist, werden die Mengen des geschmolzenen Eises diesen gleichfalls proportional seyn, und wenn daher dieser Körper 10° warm ist und durch Abkühlung im Calorimeter 1 Kilogramm Eis schmelzt, so wird er bis 20° erwärmt und bis gleichfalls zu 0° abgekühlt 2 Kilogramm und bei 30° Wärme 3 Kilogramm schmelzen. Dieses ist im Ganzen richtig, mindestens sind die Ausnahmen hiervon sehr klein, meistens zum Verschwinden, vorausgesetzt, dafs der Körper durch seine Abkühlung bis 0° C. seinen Aggregatzustand nicht ändert. Ist ferner die Masse des Körpers = 1 und schmelzt er von 10° bis 0° erkaltend die Einheit von Eis, so wird eine Masse desselben = n auch n Einheiten Eis schmelzen, was offenbar anzeigt, dafs der Wärmestoff nach ganz eigentlich quantitativen Verhältnissen in ihm vorhanden ist. In Rücksicht der Massen ist dieses Verhältnifs völlig genau, sofern man von den nämlichen Temperaturen ausgeht, also die einfache und die n-fache Masse bis 10° oder 20° oder t° erhitzt. Alles dieses ist jedoch nur für die nämlichen Körper gültig, es werden aber ganz abweichende Resultate erhalten, sobald man verschiedene

Körper anwendet, und hierauf eben beruhet der Unterschied der specifischen Wärme.

378) Um zu einem festen Anhaltpuncte zu gelangen, nehmen wir als Einheit diejenige Wärmemenge an, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm Eis bei 0° C. zu schmelzen. Es heiſse dann ferner x die unbekannte Wärmemenge, welche bei 0° C. in einem Kilogramm des Körpers A in was immer für einem Zustande des Gebunden- oder Ungebundenseyns vorhanden ist. Wird die Temperatur dieses Körpers A bis zu T Graden des gegebenen Thermometers erwärmt, und schmelzt er dann, in das Calorimeter gebracht und bis 0° erkaltend, N Kilogramme Eis von 0°, so müssen wir annehmen, daſs ihm durch seine Erwärmung bis zur Temperatur T so viel Wärme zugeführt sey, als diese Masse Eis zu schmelzen erfordert wird. Setzen wir also $c = \frac{N}{T}$, so drückt dieser Quotient die Menge der Kilogramme Eis aus, welche der Körper dadurch zu schmelzen vermag, daſs er sich um 1 Grad seiner Temperatur abkühlt oder 1 Grad der von ihm aufgenommenen Wärme wieder abgiebt. Für jede andere Temperatur t drückt dann $x + ct$ die im Körper A vorhandene gesammte Wärme aus, und ct giebt zugleich in Kilogrammen die Menge des Eises an, welches er durch Abkühlung bis 0° C. zu schmelzen vermag. Ist seine Masse, gleichfalls nach Kilogrammen gerechnet, $= m$, so ist die Wärme, welche er bei 0° C. enthält, $= mx$ und diejenige, welche er bei t Graden Temperatur enthält, $= mx + mct$, wonach also mct gleichfalls die Menge von Eis ausdrückt, die er durch Abgabe eines Grades seiner Temperatur zu schmelzen vermag. Dieses findet indeſs nur Anwendung auf die nämlichen Körper und nur so lange, als sie ihren Aggregatzustand nicht ändern; für verschiedene Körper aber oder für die nämlichen in verändertem Aggregatzustande findet dagegen ein anderer Werth von c statt und dieses ist eben, was man specifische Wärme nennt. Ist der Körper in *fester Gestalt* und will man seine specifische Wärme auffinden, so erhitzt man die vorher bestimmte Masse m desselben bis zu t Graden, bringt ihn in das Calorimeter, läſst ihn darin bis 0° C. erkalten, miſst die Menge des durch ihn geschmolzenen Eises $= n$ und erhält dann:

$$mct = n, \text{ also } c = \frac{n}{mt},$$

wodurch seine specifische Wärme bestimmt ist. Lavoisier und Laplace machten z. B. folgenden Versuch, welchen Biot auf neues französisches Maſs und Centesimalgrade der Temperatur reducirt hat. Sie erhitzten ein Stück Eisenblech 3,77264 Kilogramm schwer in siedendem Wasser bis 97°,5 C., brachten es in das Calorimeter, und als es nach 11 Stunden bis 0° C. erkaltet war, hatte es 0,542004 Kilogramm Eis geschmolzen. Hieraus ergiebt sich

$$c = \frac{0,542004}{3,77264 \times 97,5} = 0,0014735.$$

Es folgt einfach aus der Natur der Sache, daſs man statt des Centesimalthermometers jedes andere und ebenso statt des gewählten neufranzösischen Gewichtes jedes andere in Anwendung bringen könne. Das Gewicht ist hierbei ganz willkürlich, denn es kommt sowohl im Zähler als auch im Nenner der Formel vor; da sich aber die Thermometergrade bloſs im Divisor befinden und die Formel überhaupt angiebt, wie viel Eis durch einen Grad der gewählten Scale geschmolzen wird, so muſs der Quotient so viel kleiner seyn, je mehr Grade des gewählten Thermometers einem gewissen Unterschiede der Temperatur zugehören. Will man daher den gefundenen Quotienten auf eine andere Thermometerscale reduciren, so darf man ihn nur mit dem Verhältnisse der Thermometerscalen multipliciren, also im gegebenen Beispiele mit $\frac{100}{80}$, wenn man statt der Centesimalgrade Reaumür'sche verlangte. Es ist aber

$$0,0014735 \times \tfrac{5}{4} = 0,001841875,$$

und eben diese Gröſse wurde ursprünglich von Lavoisier und Laplace gefunden. Sie nahmen 7,7070319 Pfund Blech bei 78° R. Temperatur und erhielten 1,109795 Pfund geschmolzenes Eis. Hiernach ist

$$c = \frac{1,109795}{7,7070319 \times 78} = 0,001841875,$$

wie oben. Uebrigens ist die Gröſse c nur eine relative und dient dann, wenn man die Normaleinheit festgesetzt hat, nur zur Vergleichung.

379) Sollen die specifischen Wärmen flüssiger Körper bestimmt werden, so kann man diese nicht unmittelbar in das Calorimeter bringen, sondern in einem Gefäſse eingeschlossen,

und es findet hierbei dann die nämliche Correction statt, welche bei der Methode der Mischungen für das Gefäfs, worin das zum Messen bestimmte Wasser enthalten ist, in Anwendung gebracht wurde. Ist demnach die Masse des Gefäfses, worin sich die zu untersuchende Flüssigkeit befindet, = m, die specifische Wärmecapacität seines Stoffes = c, bezeichnen m' und c' diese nämlichen Gröfsen für die Flüssigkeit, t die gemeinschaftliche Temperatur beider und n die Menge des geschmolzenen Eises, so ist

$$mct + m'c't = n, \text{ also } c' = \frac{n - mct}{m't}.$$

Lavoisier und Laplace z. B. nahmen zur Bestimmung der specifischen Wärme der Salpetersäure 4 Pfund dieser Flüssigkeit und gossen sie in ein Glas von 0,53125 Pfund Gewicht, dessen specifische Wärme für die achtzigtheilige Scale = 0,003215 gefunden war. Die Erwärmung wurde in siedendem Wasser bis 80° R. gebracht und es fanden sich nach 5 Stunden 3,66406 Pfund Eis geschmolzen. Hierin ist n = 3,66406; m = 0,53125; c = 0,003215; t = 80°; m' = 4, also

$$c' = \frac{3{,}66406 - 0{,}53125 \times 0{,}003215 \times 80}{4 \times 80} = 0{,}0110232$$

oder für die Centesimalscale = 0,00881856. Als sie auf gleiche Weise mit Wasser verfuhren, fanden sie, dafs 1 ℔. Wasser bei 60° R. oder 75° C. gerade 1 ℔. Eis schmolz. Für Wasser ist also der Werth von c' = 0,01666 .... nach der achtzigtheiligen Scale oder = 0,01333 .... nach der Centesimalscale. Dividirt man die für andere Substanzen gefundenen Werthe von c' mit der einen oder der andern dieser Gröfsen, so erhält man für die Reaumür'sche oder die Centesimalscale die relativ specifischen Wärmen. Meistens nimmt man aber zur leichteren Uebersicht die specifische Wärme des Wassers als Einheit an und vergleicht damit die übrigen. Es findet sich dann die des Quecksilbers = 0,029, d. h. wenn eine gegebene Menge Wasser durch 1° Wärmeverlust 1 Pfund Eis zu schmelzen vermöchte, so würde 1 Pfund Quecksilber nur 0,029 Pfund zu schmelzen vermögen, eine gleiche Masse Wasser aber würde nur 0°,029 Wärme verlieren und dadurch eine gleiche Masse Quecksilber um 1° erwärmen. Hierbei ist die Thermometerscale gleichgültig, denn die Regel pafst für alle auf gleiche Weise.

380) Das Eiscalorimeter läfst sich, wie Biot[1] bemerkt, auch noch zu andern Untersuchungen, als zur Auffindung der specifischen Wärme benutzen. Verschiedene *chemische Verbindungen* erzeugen bekanntlich Wärme, und will man deren Menge kennen lernen, so erkältet man sie einzeln bis 0° C., verbindet sie dann und mifst die entbundene Wärme mittelst der Menge des durch sie geschmolzenen Eises. Lavoisier und Laplace gossen 1,5 Pfund Wasser zu 2 Pfund Schwefelsäure von 1,87051 specifischem Gewicht, beide bei 0° Temperatur, brachten sie vereint in das Calorimeter und erhielten 3,1406 Pfund geschmolzenes Eis, woraus folgt, dafs 1 Pfund der vereinten Flüssigkeiten 0,8973 Pfund Eis zu schmelzen vermag. Selbst wenn Körper durch ihre Vereinigung Wärme binden, kann man den bewirkten Wärmeverlust damit messen. Hierzu ist erforderlich, sie vor ihrer Vereinigung so weit zu erhitzen, dafs sie vereint nicht bis 0° C. erkalten, dann die Menge Eis zu bestimmen, die sie vereint bis zum Herabgehn auf 0° C. schmelzen, und indem man diese Gröfse von der Menge des Eises abzieht, die sie vom Puncte ihrer Erhitzung an bis zum Herabsinken auf 0° C. geschmolzen haben würden, so ergiebt sich die Menge der verschluckten Wärme. Angenommen die Mischung sey in ihren einzelnen Theilen bis t Grade erwärmt, sie habe durch die Vereinigung x Grade verloren und dann noch eine Menge Eis = a geschmolzen, so ist für eine Masse = m′ und eine specifische Wärme = c′ offenbar

$$m'c'(t-x) = a.$$

Um den Werth von c′ zu ermitteln, darf man nur die schon vereinte Masse bis t′ Grade erwärmen, dann im Calorimeter bis 0° erkalten lassen, um die Menge des geschmolzenen Eises = a′ zu erhalten, wodurch man

$$m'c't' = a'$$

erhält. Nimmt man hieraus den Werth von m′ c′ und setzt ihn in die erste Gleichung, so ergiebt sich

$$x = \frac{a't - at'}{a}.$$

Dafs sich vermittelst des Eiscalorimeters auch noch andere Auf-

1 Traité. T. IV. p. 401.

gaben lösen lassen, namentlich die Bestimmung der durch den Lebensprocefs oder durch Verbrennung erzeugten Wärme, darf als bekannt vorausgesetzt werden und gehört nicht eigentlich zu der vorliegenden Aufgabe.

γ) Wassercalorimeter.

381) Hauptsächlich zur Bestimmung der specifischen Wärme der expansibelen Flüssigkeiten hat man sich häufig des Wassercalorimeters von verschiedener und mehrfach abgeänderter Construction bedient, wobei jedoch im Allgemeinen das Princip zum Grunde liegt, dafs die in den untersuchten Körpern von einer gewissen höheren Temperatur an bis zu einer niedrigern enthaltene Wärme dem kälteren Wasser mitgetheilt wird oder dafs umgekehrt die Körper dem wärmeren Wasser Wärme entziehn. Ist dann die Masse der verschiedenen Körper bekannt und zugleich die Zahl der Wärmegrade, um welche sie eine gegebene Quantität Wasser erwärmen oder erkälten, so findet man hieraus ihre specifische Wärmecapacität. Die Construction dieser, von Rumford zuerst gebrauchten Calorimeter im Allgemeinen ist bereits beschrieben worden[1], die von den einzelnen Experimentatoren dabei angebrachten Modificationen aber werden am besten bei ihren Versuchen erwähnt. Uebrigens läfst sich dieses Calorimeter ebenso gut dem Eiscalorimeter anreihen, als mit den Apparaten, die zur Auffindung der specifischen Wärme durch Mischung dienen, in Parallele setzen. Es macht nämlich keinen wesentlichen Unterschied, ob die gegebene Wärmemenge dazu verwandt wird, eine gewisse Quantität Eis zu schmelzen, oder eine bestimmte Masse Wasser um eine gewisse Menge von Thermometergraden zu erwärmen. Von der andern Seite kann man die Sache aber auch so betrachten, als ob die zu untersuchenden Körper mit dem Wasser gemischt würden und dessen Temperatur erhöhten; mindestens hat Crawford, welcher sich der Methode der Mischungen bediente, auch die specifischen Wärmen der Gasarten auf die Weise untersucht, dafs er sie in Gefäfsen erwärmte und diese dann im Wasser abkühlen liefs. Nehmen wir also an, dafs die für die Methode der Mischungen gebrauchten Apparate als

1 S. Art. *Calorimeter*. Bd. II. S. 13.

Wassercalorimeter zu betrachten seyen, was genau genommen wohl geschehn mufs, so hätten wir bis jetzt nur zwei Methoden zur Auffindung der specifischen Wärme der Körper kennen gelernt.

δ) Methode der Abkühlung.

382) Joh. Tob. Mayer[1] stellte zuerst den Satz auf, dafs die specifische Wärme eines Körpers aus der Zeit seiner Abkühlung zu entnehmen sey. Nach seiner oben (§. 256) angegebenen Formel ist

$$L = \frac{1}{pc}, \text{ also } c = \frac{1}{Lp},$$

worin c die specifische Wärmecapacität, L das Leitungsvermögen, welches aus der Abkühlungszeit entnommen wird, und p das specifische Gewicht der Körper bezeichnen. Herschel[2] bemerkt hierbei, dafs zur Bestimmung der specifischen Wärme gleiche Volumina genommen und die specifische Wärme den Zeiten der Abkühlung direct proportional gesetzt wurden. Diese bezogen sich aber auf das Volumen, und wolle man dagegen die specifische Wärme der Masse kennen lernen, so müsse mit dem specifischen Gewichte dividirt werden. Heifse also die specifische Wärme der Masse c′, die des Volumens c, so sey

$$c' = \frac{c}{p}.$$

Diese Methode ist sehr empfohlen worden durch Leslie[3], welcher viele Versuche danach angestellt hat, wie nicht minder durch Dalton[4], nach dessen Ansicht die Resultate von den Fehlern der Thermometer ganz unabhängig sind, überhaupt aber gehören hierher alle die Versuche, welche zur Bestimmung des *Leitungsvermögens* der Körper oben (§. 237 ff. Gesetze des Erkaltens)

1 Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlang. 1796. Vergl. Gren's Journ. d. Phys. Th. III. V. Crell chem. Ann. 1798. St. 6. Ann. de Chim. T. XXX. p. 82.

2 Encyclop. metrop. Art. *Heat.* p. 308.

3 Experimental Inquiry into the nature of Heat. 1804.

4 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. Th. I.

bereits mitgetheilt worden sind. MURRAY[1] dagegen verwirft diese Methode, weil die Abkühlungszeiten noch durch andere Ursachen, als die bloſse Wärmecapacität bedingt werden, namentlich durch das Leitungs- und Strahlungsvermögen. Das letzte Hinderniſs haben LESLIE und DALTON dadurch vermieden, daſs sie die zu untersuchenden Körper in Glas einschlossen, wonach also das Strahlungsvermögen der Oberfläche constant war, allein der Einfluſs des Leitungsvermögens ist insbesondere bei gröſseren Massen ganz unvermeidlich. Bei Flüssigkeiten kommt obendrein der Grad ihrer Fluidität in Betrachtung, vermöge welcher ihre einzelnen Theile sich ungleich bewegen und zur Abgabe ihrer Wärme an die Oberfläche gelangen. Mehr als J. T. MAYER haben DULONG und PETIT[2] bei ihren Versuchen (§. 242) die Ursachen der Fehler zu vermeiden gesucht und die ursprüngliche Formel erweitert. Für wesentlich hielten sie, die Masse der zu untersuchenden Körper mehr zu verkleinern und die Abkühlung langsamer statt finden zu lassen. Sie beobachteten daher die Abkühlungszeiten erst dann, wenn der Körper nur wenige Grade wärmer war, als die Umgebung, und auſserdem erhielten sie die letztere dadurch bei einer constanten Temperatur, daſs sie dieselbe in eine durch Eis stets gleichmäſsig abgekühlte und inwendig zur besseren Aufnahme der Wärme mit Ruſs überzogene Hülle einschlossen, in welcher die Luft bis auf 2 Millim. Quecksilberdruck verdünnt war. Die hierin eingesenkten Flüssigkeiten und festen Körper befanden sich auſserdem in gleichen Gefäſsen, deren Oberflächen daher ein stets gleiches Strahlungsvermögen ausübten. Gleiche Massen der zu untersuchenden Körper wurden dann in ihren Behältern bis zu bestimmten Graden erwärmt, in die mit Eis oder kaltem Wasser umgebene Kugel gebracht und die Zeit der Abkühlung gemessen, aus welcher die specifische Wärme hervorgeht. Setzt man nämlich die Gültigkeit des Newton'schen Gesetzes voraus, wie auf jeden Fall auch nach der Ansicht der französischen Physiker dann geschehn kann, wenn der Temperaturunterschied des Körpers und der Hülle nicht groſs ist, so muſs das Differential der Temperaturabnahme zum Differential der Zeit in einem gewis-

---

1 Chemistry. T. I. p. 384.
2 Ann. Chim. Phys. T. X. p. 399.

sen Verhältnifs zur Temperatur stehn, also wenn Θ die Temperatur und t die Zeit bezeichnet,

$$-\frac{\partial \Theta}{\partial t} = m\Theta, \text{ also Log. } \Theta = mt + \text{Const.}$$

seyn. Bei den Versuchen von Dulong und Petit, die für ähnliche als Norm dienen könnten, fing die Beobachtung an, wenn der zu untersuchende Körper auf 10° C. herabgegangen war, und dauerte so lange, bis er 5° erreicht hatte, also war $\Theta = 10$ und $-$ Log. 10 = Const., folglich

$$\text{Log. } 10 - \text{Log. } \Theta = mt \text{ und } m = \frac{\text{Log. } 10 - \text{Log. } \Theta}{t}.$$

Es wurde die Zeit gemessen, binnen welcher die Temperatur von 10° bis zu 5° herabging, und für diese Grenze hat man daher

$$m = \frac{\text{Log. } 2}{t}.$$

Der Coefficient m, worauf es hier ankommt, läfst sich noch auf eine andere Weise bestimmen. Alle untersuchte Substanzen befanden sich in dem nämlichen, stets gleiche Strahlung ausübenden, Gefäfse. Die Temperatur oder der Bruchtheil eines Scalengrades, welchen der Körper in der Zeiteinheit bei einem Temperaturunterschiede von 1° C. verlieren mufste, welche Gröfse durch m bezeichnet wird, wurde bedingt durch die Gröfse der strahlenden Oberfläche s und das Strahlungsvermögen e derselben, die sich in allen Versuchen gleich blieben, durch die Masse des Körpers, womit das kleine Gefäfs erfüllt war, und durch dessen specifische Wärme c. Dieses giebt

$$m = \frac{se}{Mc}.$$

Beide Werthe von m einander gleich gesetzt giebt

$$\frac{se}{Mc} = \frac{\text{Log. } 2}{t}, \text{ also } Mc = \frac{set}{\text{Log. } 2}.$$

Für einen andern Körper von der Masse M' und der specifischen Wärme c' hat man

$$M'c' = \frac{set'}{\text{Log. } 2}, \text{ also } \frac{M'c'}{Mc} = \frac{t'}{t}.$$

Hierbei mufs der Einflufs des kleinen Gefäfses, worin die Kör-

per enthalten sind, und der Hülle, die das Thermometer einschliefst, berücksichtigt werden, den man durch k bezeichnen kann. Um diese Gröfse, die bei allen Versuchen beständig bleibt, vorher zu ermitteln, kann man Versuche mit zwei Substanzen anstellen, deren specifische Wärmen genau bekannt sind, z. B. Kupfer und Silber, und erhält dann

$$\frac{M'c'+k}{Mc+k}=\frac{t'}{t},$$

woraus sich der Werth von k entnehmen läfst. Inzwischen setzen diese Versuche voraus, dafs alle Theilchen des in die Hülle eingeschlossenen untersuchten Körpers überhaupt und hauptsächlich in dem Augenblicke, wenn das Thermometer 10° und 5° zeigt, die nämliche Wärme haben, dafs ferner das hervorragende Thermometerrohr bei allen Versuchen gleiche Mengen Wärme verliert. Aufserdem aber hat VICTOR REGNAULT[1] gefunden, dafs der rufsige Ueberzug der innern Fläche der umgebenden Hülle als sehr hygroskopische Substanz Feuchtigkeit anzieht und die Herstellung eines genauen Vacuums verhindert, woraus einige der Fehler entspringen, die er bei seinen Proberersuchen nicht vermeiden konnte und die daher diese Methode zur Erreichung der höchsten Genauigkeit weniger geeignet machen.

a) Specifische Wärme der expansibeln Körper.

383) Mehrere Gelehrte haben sich mit dem schwierigen Probleme beschäftigt, die specifische Wärme der expansibeln Flüssigkeiten aufzufinden[2]. Schon CRAWFORD[3] bediente sich der Methode der Mischungen oder, wenn man will, des Wassercalorimeters zu diesen Bestimmungen. In dieser Absicht verfertigte er dünne cylindrische Gefäfse von Weifsblech, erwärmte die in ihnen enthaltene atmosphärische Luft oder son-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 1.

2 Eine ausnehmend vollständige Zusammenstellung dieser Bemühungen findet man in: Dissertatio physica inauguralis de Calore fluidorum elasticorum specifico. Auct. ALEX. CAR. GUIL. SUERMAN. Trai. ad Rhen. 1836. 4.

3 A. a. O.

stige Gasart dadurch, dafs er sie in andere hohle, nur wenig weitere Cylinder steckte, die durch heifses Wasser erwärmt wurden, und senkte sie dann in die mit Wasser oder Oel gefüllten hohlen Mefscylinder, um aus der erhöheten Temperatur dieser Flüssigkeiten die specifische Wärme der Gase zu finden. Um diese letztere Gröfse im Verhältnifs zur atmosphärischen Luft zu bestimmen, gebrauchte er zwei gleiche Cylinder, deren einer mit Luft, der andere mit der zu untersuchenden Gasart gefüllt war, und zur Vergleichung mit Wasser brachte er letzteres in den einen Mefscylinder, während der andere mit Luft gefüllt war. Man verkennt die Vorsicht und Genauigkeit, womit diese Versuche angestellt wurden, keinen Augenblick; auch liefs Crawford die Gase zuvor durch ein stark abgekühltes Gefäfs strömen, ehe er sie in die Mefscylinder brachte, um sie möglichst von aufgenommenen Dämpfen zu befreien, allein die Quantitäten, womit er operirte, waren zu klein, als dafs man genaue Resultate erwarten dürfte. So betrug die Erwärmung des Wassers durch atmosphärische Luft mit Einschlufs des Gefäfses nur 2°,2 F., und weil davon 1°,926 dem Gefäfse zugehören, so blieb für die Luft nur 0°,274 übrig, die corrigirt auf 0°,23 F. herabgehn[1].

384) Auch Lavoisier und Laplace bestimmten mittelst des Eiscalorimeters die specifische Wärme der Luft und des Sauerstoffgases. Zu diesem Ende liefsen sie eine gemessene Quantität der Gasart durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr streichen, nachdem sie dieselbe vorher in einem andern Rohre durch heifses Wasser erwärmt hatten. Sie mafsen die Temperatur vor dem Eintritte in das Calorimeter und beim Austritte aus demselben, und bestimmten die specifische Wärme aus der Menge des Eises, welches durch den Unterschied beider Temperaturen geschmolzen war, wobei sie jedoch eine Abkühlung der im Versuche gebrauchten Luft oder Gasart durch das den innern Behälter umgebende Eis bei ihrem Eintritte

1 Dalton's Bemühungen, die specifische Wärme der Gase aufzufinden, in: Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft, Th. I. S. 71, übergehe ich. Er bediente sich dabei der Methode der Abkühlung, wie sie bei dem unten zu erwähnenden Verfahren mit tropfbaren Flüssigkeiten näher bezeichnet werden wird.

und Austritte nicht gänzlich vermeiden konnten und außerdem das vorausgehende Trocknen der Gase vor ihrer Erwärmung vernachlässigten.

385) Die vom französischen Institute aufgegebene Preisfrage, deren durch Delaroche und Bérard eingereichte Beantwortung gekrönt wurde, veranlaſste auch Clément und Désormes[1], die Lösung der Aufgabe zu versuchen; sie beschränkten sich aber zunächst auf die Bestimmung der specifischen Wärme der atmosphärischen Luft vermittelst des Eiscalorimeters und fanden, indem sie mehrere Tausend Liter derselben von 0,76 Met. Druck bei 62° bis 63° Temperatur durch das Eiscalorimeter strömen lieſsen, die 2° bis 3° warm wieder ausströmten, aus der Menge des geschmolzenen Schnees die specifische Wärme derselben = 0,25, die des Wassers = 1 genommen. Auſserdem füllten sie einen Ballon mit der zu untersuchenden Gasart, senkten ihn in ein Gefäſs mit heiſsem Wasser und zählten die Zeit bis zur Erwärmung des Gases, die sie aus der Ausdehnung desselben bestimmten, mittelst der Schwingungen eines Pendels. Indem sie dann die Zeiten der Erwärmung bis zu gleichen Graden der specifischen Wärmecapacität proportional setzten und ebenso umgekehrt einen mit der zu untersuchenden Gasart gefüllten Ballon im leeren Raume erkalten lieſsen, fanden sie die specifische Wärme der Luft = 1,00; des Wasserstoffgases = 0,64; der Kohlensäure = 1,48 für gleiche Volumina. Werden diese Gröſsen für das specifische Gewicht corrigirt, so erhält man die Werthe 1,00; 9,60 und 0,97, und auf Wasser reducirt, indem sie die specifische Wärme der Luft = 0,25 gefunden hatten, erhielten sie die Gröſsen 0,25; 2,40; 0,24.

386) Die wichtigsten Versuche über die specifische Wärme der Gase haben Delaroche und Bérard[2] angestellt. Sie bedienten sich hierzu eines Gasometers, aus welchem stets gleiche Mengen der Gase ausströmten, die durch einen nach bekannten Gesetzen regulirten gleichmäſsigen Zufluſs von Wasser ausgetrieben wurden. Die vorher getrocknete und erwärmte Gasart durchströmte dann ein schlangenförmig gewundenes Rohr von acht Windungen, und gab während dieser Zeit dem Was- Fig. 62.

1 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 321.
2 Ann. de Chimie. T. LXXXV. p. 72 ff.

sercalorimeter diejenige Wärmemenge ab, die aus der erhöhten Temperatur dieses Wassers und dem Temperaturunterschiede der Gasart vor dem Eintritte in das Schlangenrohr und nach dem Ausströmen aus demselben gemessen wurde. Bei einer ersten Reihe von Versuchen brachten sie das Wasser des Calorimeters zu einer constanten Temperatur. Wenn nämlich die erhitzte Gasart das Schlangenrohr durchströmte, so gab sie an das dieses umgebende Wasser ihre Wärme ab und hatte somit beim Ausströmen die Temperatur dieses Wassers angenommen. Das Gefäfs des Calorimeters dagegen nahm die ihm und dem Wasser auf diese Weise zugeführte Wärme an, verlor aber stets durch Ausstrahlung, und dieses mufste so lange dauern, bis die Menge der zugeführten und ausgestrahlten Wärme einander gleich, mithin die Temperatur des Calorimeters stationär wurde. Wenn also verschiedene Gasarten unter gleichem Drucke und von gleicher Temperatur das Schlangenrohr des Calorimeters durchströmten, die äufsere Temperatur aber sich gleich blieb, so mufste der Unterschied dieser Temperatur und derjenigen, worauf der Strom der eigenthümlichen Gasart das Calorimeter erhob, der specifischen Wärme der letzteren proportional seyn, oder wenn man die umgebende Temperatur t, die des Calorimeters t′ nennt und c die specifische Wärme ist, so ist $c = t' - t$.

Um die aus den Gefäfsen ausströmende Gasart vor ihrem Eintritte in das Calorimeter zu erwärmen, ging die sie zuleitende Röhre eine hinlänglich lange Strecke durch ein anderes weites Rohr, in welches siedend heifse Wasserdämpfe geleitet wurden, die sie stets umspielten und bis 100° C. erwärmten. Hierbei waren aber zwei Hindernisse zu beseitigen. Zuerst konnte das erwärmte Gas seine angenommene Temperatur von 100° beim Eintritt in das Calorimeter nicht beibehalten haben, da die dasselbe zuleitende Röhre Wärme an die Umgebung abgab, zweitens aber mufste die Zuleitungsröhre dem Calorimeter aufser der Wärme, welche durch die Gasart mitgetheilt wurde, selbst noch einige zuführen und dadurch die stationäre Wärme erhöhn. Der erstere Wärmeverlust war bei allen Gasarten derselbe, aufserdem an sich unbedeutend, und konnte also vernachlässigt werden, um aber dem zweiten Hindernisse zu begegnen, trennten sie die Gasometer, den Erwärmungsapparat und den gröfsten Theil der Leitungsröhren durch eine dicke

Wand vom Calorimeter und ließsen die Gasart durch eine 20 Millim. lange Glasröhre in das Calorimeter eintreten, die zur Vermeidung des Kittes vermittelst zwischenliegender Lederscheiben verbunden war und als schlecht leitende Substanz wenig Wärme zuführte. Um aber auch die letztere, wenn gleich geringe Wärmemenge genauer zu bestimmen, erwärmten sie die Röhren auf die gewohnte Weise, ohne dafs Gas hindurchströmte, und brachten hierdurch allein das Calorimeter zu einem constanten Ueberschusse seiner Temperatur über die der Umgebung. Zur genaueren Bestimmung dieses Ueberschusses dienten zwei Versuchsreihen. In der ersten, die wir die der aufsteigenden Temperaturen nennen können, erwärmten sie das Calorimeter, bis seine Wärme stationär wurde, und fanden hierbei aus mehreren Versuchen im Mittel die Wärme des Calorimeters 11°, die der äufseren Luft 8°,21, welches einen Unterschied von 2°,79 giebt. In der zweiten, welche die der absteigenden Temperatur heifsen möge, erwärmten sie das Calorimeter über die Temperatur, wobei es stationär geworden war, es mufste daher mehr Wärme ausstrahlen, als es aufnahm, und auf diese Weise abermals durch Erkalten stationär werden. Dieses geschah bei 11°,69, als die Umgebung 8°,13 zeigte, welches einen Unterschied von 3°,56 C. giebt; das Mittel aus beiden Gröfsen ist 3°,1, um welche das Calorimeter durch die Zuleitungsröhre erwärmt wurde. Diese Gröfse kann jedoch nur für den gegebenen Temperaturunterschied gelten, denn angenommen, das Calorimeter habe eine gleiche Wärme, als das Rohr selbst, so konnte ihm durch letzteres gar keine Wärme zugeführt werden. Diesem gemäfs nahmen sie die gefundene Gröfse 3,1 dem jedesmaligen Temperaturunterschiede proportional. War also dieser Unterschied bei dem Probeversuche = 80° und beim Durchströmen der Gasart 72°, so erhielten sie $3,1 \times \frac{72}{80} = 2,8$. Der eigentliche Punct der stationären Temperatur des Calorimeters wurde bei den nachherigen Versuchen zur Bestimmung der specifischen Wärmen der Gase gleichfalls durch Zunahme und Abnahme der Wärme gemessen. Zuerst wurde die Erwärmung desselben durch das Gas so lange fortgesetzt, bis aus der Langsamkeit der Zunahme zu schliefsen war, es fehle am Maximum nur noch weniger als ein ganzer oder ein halber Grad, dann wurde derselbe mittelst

untergesetzter Weingeistlampe um einige Grade erwärmt, und seine Temperatur sank also nach Wegnahme der Lampe bei fortdauerndem Durchströmen des erhitzten Gases wieder herab, bis auch dann ein stationärer Zustand eintrat, so dafs auch auf diese Weise das Maximum erhalten wurde; das Mittel aus beiden Werthen gab die gesuchte Gröfse. Diese liefs sich ausnehmend scharf bestimmen, denn der Cylinder des gebrauchten Thermometers war so lang, dafs er nahe von der Oberfläche des Wassers im Calorimeter bis auf den Boden reichte, die Scale war aber so lang, dafs ein Grad 6 Millimeter einnahm, die in 10 Theile getheilt waren, wovon noch ein Zehntel sich füglich schätzen liefs. Ebenso war ein sehr empfindliches Thermometer angebracht, um die Temperatur des Gases bei seinem Eintritt in das Calorimeter zu messen, welche sich, je nach der Natur des Gases, constant zwischen 95°,6 und 92°,6 hielt. Uebrigens konnte dieses Thermometer die wirkliche Temperatur des Gases nicht angeben, so wie Wasser in einem Gefäfse, welches in siedendem Wasser steht, die Siedehitze nicht annimmt (§. 300). Die Experimentatoren glaubten daher sich der Wahrheit am meisten zu nähern, wenn sie für die Wärme des einströmenden Gases das Mittel zwischen 100° C., die nie überstiegen werden konnten, und derjenigen Temperatur annahmen, die das Thermometer zeigte. Die Temperatur des ausströmenden Gases wurde einfach, aber mit einem gleichfalls sehr genauen und empfindlichen Thermometer gemessen. Auf diese Weise erhielten sie folgende Werthe aus je zwei Versuchen für jede Gasart.

Gasart.		Menge. Liter	Barometer	Temperaturen beim Eintritt	beim Ausflufs	äufsere	Unterschied
Luft	1	36,91	0m,7405	97°,60	25°,185	7°,262	15°,644
	2	30,53	0,7548	97,30	25,067	9,776	15,824
Wasserstoffgas .	1	37,84	0,7494	95,80	24,765	8,040	14,388
	2	31,50	0,7545	95,70	25,807	12,017	14,040
Kohlensauerst.	1	36,11	0,7582	96,80	27,548	6,552	19,798
	2	30,95	0,7520	97,15	29,598	12,016	19,801
Sauerstoffgas . .	1	37,42	0,7484	97,71	25,769	8,158	15,281
	2	31,30	0,7503	96,30	27,764	13,205	15,449
Salpetergas		30,31	0,7582	97,00	27,924	8,923	21,246
ölerzeugendes Gas		30,85	0,7500	97,35	30,288	9,258	24,435
Kohlenoxydgas . .		30,85	0,7535	97,55	24,505	8,475	16,270

In der letzten Columne sind diejenigen Temperaturen enthalten, bei denen das Calorimeter stationär wurde, und es darf kaum bemerkt werden, dafs aus je zwei zusammengehörenden Versuchen die mittleren Werthe genommen wurden. Es war aber aufserdem erforderlich, die erhaltenen Resultate auf einen gleichen Luftdruck zurückzuführen und daher den Einflufs des ungleichen Barometerstandes auf die specifische Wärme der Gase zu kennen, um hieraus die erforderliche Correction zu entnehmen. Zu diesem Ende stellten sie zwei Hülfsversuche mit atmosphärischer Luft unter verschiedenem Drucke an. Hierzu bedurfte es weiter nichts, als einer Regulirung der Gasometer durch Vermehrung des Druckes der Wassersäule, welche das Ausströmen des Gases bewirkte. Im einen Versuche betrug der Gesammtdruck, unter welchem die eingeschlossene atmosphärische Luft stand, 1,0058 Meter. Es kam nämlich zu dem bereits vorhandenen Drucke von 0,7527 Meter Barometerhöhe noch eine Wassersäule von 3,44 Meter hinzu, welche auf Quecksilber reducirt einer Säule von 0,2531 Metern gleich kommt[1]. Das Durchströmen war so, dafs in 10 Minuten 31,1 Liter Luft von ursprünglich 5° C. Temperatur, also auf 0° C. reducirt 30,53 Liter durch das Calorimeter strömten. Dieser Strom, bis 100° C. erwärmt und genau so wie in den übrigen Versuchen durchgeleitet, brachte das Calorimeter zur stationären Temperatur von 16°,117 über die der umgebenden Luft, nach Abzug der Gröfse, die der Erwärmung durch das Zuleitungsrohr zugehörte. Beim Eintritt war die Temperatur der Luft 96°,9, beim Austritt 22°,832 C., und sie verlor also 74°,068. Setzt man voraus, dafs die specifische Wärme der Luft zwischen den beiden festen Puncten der Thermometerscale sich gleich bleibt, und nennen wir die Gesammtmenge der aus den gegebenen 30,53 Liter entwickelten Wärme = C., so ist klar, dafs 1 Liter Luft unter dem Drucke von 1,0058 Meter Quecksilberhöhe durch die gemessene Abkühlung $\frac{C}{30,53}$ Wärme abgegeben habe und dafs dieselbe Menge um 1 Grad C. sich abkühlend $\frac{C}{30,53 \times 74,068}$ abgeben würde. Die Quantität C der abgegebenen Wärme ist aber dem Unterschiede

1 Die Wasserbehälter des Gasometers wurden für diesen Zweck in das Zimmer des nächst höheren Stockes hinauf gerückt.

zwischen der stationär gewordenen Temperatur des Calorimeters und der äufsern Umgebung proportional, und dieser Unterschied kann also als das Mafs der freigewordenen Wärme gelten, indem man diese den Thermometergraden proportional setzt. Der Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die Umgebung war aber 16°,117 C. gefunden worden, und da also C = 16°,117, so drückt

$$\frac{16{,}117}{30{,}53 \times 74{,}068} = 0^{\circ}0071274$$

den Ueberschufs der Temperatur aus, auf welcher das Calorimeter durch das Durchströmen von 1 Liter Luft auf 0° Temperatur reducirt und unter einem Drucke von 1,0058 Meter Quecksilberhöhe und 1° C. Wärmeverlust erhalten werden könnte. Bei einem andern Versuche brachten aber 35,99 Liter auf 0° C. reducirt unter einem Drucke von 0,7405 Meter Quecksilberhöhe, indem sie sich um 72°,415 C. abkühlten, einen Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters von 15°,423 hervor, welches auf gleiche Weise berechnet

$$\frac{15{,}423}{35{,}99 \times 72{,}415} = 0^{\circ}{,}00591778$$

als den Ueberschufs der Temperatur giebt, um welchen unter diesen Bedingungen 1 Liter Luft das Calorimeter 1° C. erwärmen würde. Nimmt man das Verhältnifs beider Gröfsen

$$\frac{0{,}0071274}{0{,}00591778} = 1{,}20441,$$

so zeigt dieses das Verhältnifs der Wärmemenge, welche durch die nämliche Quantität Luft unter übrigens gleichen Bedingungen entwickelt werden, wenn ihre Dichtigkeiten sich wie

$$\frac{1{,}0058}{0{,}7405} = 1{,}35827$$

zu einander verhalten. Eine folgende Reihe von Versuchen gab als Mittel 1,2396 statt 1,20441, und da diese Gröfse für weit genauer zu halten ist, als die früher gefundenen, so behielten sie dieselbe allein bei, und hiernach giebt also eine Vermehrung der Dichtigkeit der Luft um 0,35827 eine Vermehrung der Wärme = 0,2396. Wenn demnach ein Volumen Luft unter dem Drucke p eine Menge Wärme = C entwickelt,

welche nach den Graden gemessen wird, wozu sie das Calorimeter über die Temperatur seiner Umgebung erhöht, und C (1 + z) die Zahl der Grade ausdrückt, die das nämliche Volumen unter gleichen Bedingungen, aber unter dem Druck p' erzeugt, so kann man annähernd das Verhältnifs als richtig annehmen, wonach

$$0{,}35827 : 0{,}2396 = \frac{p' - p}{p} : z,$$

also

$$z = 0{,}2396 \frac{p' - p}{p \cdot 0{,}35827}$$

ist. Delaroche und Bérard konnten dieses um so mehr als richtig annehmen und bei der Berechnung ihrer Versuche zum Grunde legen, als sie stets mit Gasarten unter atmosphärischem Drucke operirten, wobei also die Unterschiede der Pressungen nur unbedeutend waren. Bei den Reductionen konnte aufserdem die Voraussetzung, dafs die specifische Wärme der Gasarten unter gleichem Drucke sich stets gleich sey, keine bedeutenden Fehler herbeiführen, weil die Temperaturen, welche das Calorimeter erhielt, wenig von einander verschieden waren; auch konnten sie aus gleichen Gründen die nämlichen Reductionen auf alle von ihnen untersuchten Gasarten anwenden.

Nach diesen Grundsätzen wurden die in der Tabelle enthaltenen Gröfsen corrigirt, um die specifische Wärme der untersuchten Gase zu finden, wie sie durch die in der letzten Columne befindlichen Unterschiede der Wärme des Calorimeters über die äufsere Umgebung gegeben wird, die durch gleiche Mengen jeder Gasart unter gleichem Drucke und bei gleichen Temperaturen erzeugt war. Um das Verhältnifs der specifischen Wärmen verschiedener Gasarten unter einander zu erhalten und sie namentlich auf die der Luft zu reduciren, nimmt man diese letztere als Einheit und dividirt ihre Gröfse in die der übrigen, wodurch ihr Verhältnifs für gleiche Volumina unter gleichem Drucke gegeben wird; wenn man aber diese Gröfsen durch das specifische Gewicht der Gase dividirt, das der atmosphärischen Luft als Einheit genommen, so erhält man ihre specifische Wärme für gleiche Massen, d. h. die Wärmemengen, welche gleiche Gewichte der Gasarten unter gleichem Drucke und durch Herabgehn von gleich höheren

zu gleich niedrigern Temperaturen abgeben würden. Beide Gröfsen enthält die nachfolgende Tabelle.

Gasart.	Specifische Wärme der Volumina	Specifische Wärme der Gewichte
atmosphärische Luft	1,0000	1,0000
Wasserstoffgas . .	0,9033	12,3401
Kohlensäure . . .	1,2583	0,8280
Sauerstoffgas . . .	0,9765	0,8840
Stickgas	1,0000	1,0318
Stickstoffoxydul .	1,3503	0,8875
ölerzeugendes Gas	1,5530	1,5763
Kohlenoxydgas . .	1,0340	1,0805
Wasserdampf . . .	1,9600	3,1360

387) Weil das Calorimeter während der Zeit, in welcher es die Wärme aufnimmt, zugleich auch einen Theil an die Umgebung verliert, so suchten Delaroche und Bérard den Einflufs dieses Hindernisses zu beseitigen, indem sie die von Rumford[1] befolgte Methode anwandten und das Calorimeter vorher um ebenso viele Grade über die Temperatur der Umgebung kälter nahmen, als es nachher wärmer wurde, gleiche Zeitdauer für beide Unterschiede genommen, damit das Calorimeter in der ersten Hälfte der Zeit ebenso viel Wärme aufnehmen möchte, als es in der zweiten abgab. Sie bestimmten daher für den gesammten Temperaturunterschied des Calorimeters 4° C., erkälteten dann dasselbe bis 5° oder 6° unter die Temperatur der Umgebung, und wenn es so weit erwärmt war, dafs seine Temperatur noch 2° C. weniger, als die der Umgebung betrug, machten sie den Anfang des Versuches, und setzten ihn so lange fort, bis es 2° C. über die Temperatur der Umgebung erwärmt war, mafsen die Menge der Gasart, welche durch das Calorimeter geströmt war, brachten die nämlichen Correctionen bei dieser zweiten Versuchsreihe an, wie bei der ersten, und erhielten dann folgende specifische Wärmen nach dem Volumen, die zur besseren Vergleichung mit der in der ersten Versuchsreihe gefundenen Gröfsen zusammengestellt sind.

1 Vergl. G. XLIV. 8 und §. 876.

Gasarten.	Specifische Wärme erste Reihe	zweite Reihe
atmosphärische Luft	1,0000	1,0000
Wasserstoffgas . .	0,9033	0,8930
Kohlensäure . . .	1,2583	1,3110
Sauerstoffgas . . .	0,9765	0,9740
Salpetergas	1,3503	1,3150
ölerzeugendes Gas	1,5530	1,6800
Kohlenoxydgas . .	1,0340	0,9830

Die Werthe in beiden Reihen stimmen genau genug überein, jedoch geben die Experimentatoren der ersteren den Vorzug.

388) Um die specifische Wärme des Wasserdampfes aufzufinden, bedienten sich Delaroche und Bérard einer indirecten Methode, indem sie zwei vergleichbare Versuche, den einen mit trockner Luft, den andern mit solcher anstellten, die mit Wasserdampf gesättigt war. Um die Luft möglichst von Wasserdampf zu befreien, liefsen sie dieselbe durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr streichen, welches durch eine umgebende kaltmachende Mischung auf — 15° C. erhalten wurde und daher den niedergeschlagenen Wasserdampf aufnahm, wonach sie bis auf die Kleinigkeit des dann noch vorhandenen Dampfes als ganz trocken zu betrachten war, ehe sie erwärmt und dem Calorimeter zugeführt wurde. Für den hiermit zu vergleichenden Versuch sättigten sie die durch heifses Wasser streichende Luft mit Wasserdampf und liefsen sie durch ein gewundenes Rohr strömen, welches auf der bleibenden Wärme von 39° C. erhalten wurde, damit sie allen über diese Temperatur hinausgehenden Dampf absetzen möchte. Es war dann erforderlich, dafs diese Luft nicht unter 39° erkaltet wurde, um nicht eine Quantität Dampf niederzuschlagen und dadurch Unrichtigkeiten herbeizuführen, weswegen die äufsere Temperatur auf 30° erhalten wurde. Die bis 39° abgekühlte Luft wurde auf die angegebene Weise erhitzt, trat 97°,3 warm in das Schlangenrohr des Calorimeters und strömte 41°,3 warm wieder aus, wonach sie 56° Wärme verlor. Das Calorimeter kam zur stationären Wärme bei 41°,3 in einer Umgebung von 29°,8, und es waren sonach 11°,5 Wärme oder nach Abzug

von 2°, die durch das Zuleitungsrohr hervorgebracht waren, 9°,5 Wärme erzeugt. Die trockne Luft dagegen verlor 56°,9 Wärme im Calorimeter, und brachte dieses zur constanten Temperatur von 40°,4, während die Umgebung gleichfalls 29°,8 betrug. Hierbei waren also nach Abzug von gleichfalls 2° C. für die Zuleitungsröhre 8°,6 oder nach der Reduction der 56°,9 auf 56° nur 8°,4 Wärme erzeugt, welche von der für die feuchte Luft gefundenen Gröfse = 9°,5 abgezogen für die Wirkung des Wasserdampfes 1°,1 geben. Um das Volumen des Wasserdampfes auf den Luftdruck zurückzuführen, bedienten sie sich folgenden Verfahrens. Der Luftdruck war 0,7596 Meter, die Elasticität des Wasserdampfes bei 39° C. setzten sie nach Dalton = 0,0505 Meter, welches das Verhältnifs von 15 : 1 giebt. Hiernach war die Wirkung des Wasserdampfes = 16°,5, die der trocknen Luft = 8°,4, und sonach ist das Verhältnifs ihrer specifischen Wärmen für Wasserdampf dem Volumen nach = 1,96, dem Gewichte nach = 3,136.

389) Um die specifische Wärme der Gase mit der den sonstigen Körpern zugehörigen vergleichbar zu machen, war erforderlich, sie auf die des Wassers zu reduciren. Zu diesem Ende liefsen sie heifses Wasser auf ähnliche Weise, als vorher die Luft, durch das Calorimeter strömen, mafsen dessen Temperatur beim Eintritte in das Schlangenrohr und beim Austritte aus demselben, und fanden, dafs, wenn 37,75 Gramm Wasser binnen 10 Minuten durchströmten und dabei 29°,072 C. Wärme verloren, das Calorimeter bei einem Ueberschufs von 20°,713 über die umgebende Luft zum bleibenden Stande kam. Wird dieses Resultat mit dem durch atmosphärische Luft erhaltenen verglichen, so ergiebt sich, die specifische Wärme des Wassers als Einheit genommen, die der Luft = 0,2460. Ein zweiter Versuch gab 0,2536 und das Mittel aus beiden 0,2498.

Nach einer hiervon verschiedenen Methode fanden sie das gesuchte Verhältnifs aus dem Wärmeverluste des Calorimeters durch Strahlung. Es war hierbei die Menge des im Calorimeter enthaltenen Wassers = m bekannt, wozu aber die Masse des Gefäfses, auf Wasser reducirt, genommen werden mufs. Letzteres bestand aus Kupfer und dem zum Löthen verwandten Metalle. Die specifische Wärme des Kupfers ist nach Crawford 0,112 und die der Löthung, bestehend aus Zinn und

Blei, die mittlere zwischen beiden Metallen, also 0,038. Hiernach läfst sich die Masse des Wassers für sich und mit Einschlufs des Gefäfses bestimmen und ist $= m + \mu$; in diesem Falle also = 596,8 Gramm. In dem einen Versuche mit Luft ergab sich, dafs 35,99 Liter atmosphärische Luft, auf 0° C. reducirt und unter einem Drucke von 0,7405 Meter Quecksilberhöhe bis 100° C. erhitzt und sich um 72°,415 C. abkühlend, binnen 10 Minuten das Calorimeter auf den bleibenden Ueberschufs von 15°,734 C. über die Temperatur der Umgebung brachten, woraus also folgt, dafs die durchströmende Luft dem Calorimeter ebenso viel Wärme zuführte, als dasselbe durch Ausstrahlung verlor. Um die Menge der ausströmenden Wärme zu bestimmen, durften die Experimentatoren nur den Luftstrom unterbrechen und das Calorimeter frei erkalten lassen, hierbei das Gesetz der Abkühlung beobachten, hieraus die logarithmische Curve, welche das Gesetz der Abkühlung darstellt, und somit die anfängliche Geschwindigkeit des Erkaltens auffinden. Wählt man hierbei die Art, wie Biot das durch Rumford gefundene Gesetz des Erkaltens dargestellt hat (§. 241), und nennt man (y) + T die anfängliche Temperatur des Calorimeters, worin (y) die Temperatur der umgebenden Luft bezeichnet, und wird angenommen, dafs in einer Zeit t, in Minuten ausgedrückt, die erste dieser Temperaturen = (y) + y geworden sey, so ist das Gesetz der Abkühlung

$$\text{Log.}\,y = \text{Log.}\,T - \frac{a}{M}t.$$

Hierin bezeichnet M den Modulus der gemeinen Logarithmen = 2,302585 und a drückt die Gröfse der Erkaltung während der Einheit der Zeit aus oder die Zahl der Grade, welche die Abkühlung einem Körper nehmen würde, wenn man ihn während dieser Zeit bei einer um 1° C. höheren Temperatur, als die der Umgebung erhielte. Diese Gröfse bleibt der Natur der Sache nach während der ganzen Dauer des Erkaltens sich gleich. Soll aber die Wirkung auf die anfängliche Temperatur T gefunden werden, so mufs man den Werth von aT suchen. Diesen findet man vermittelst der Formel:

$$a\,T = \frac{M\,T\,(\text{Log.}\,T - \text{Log.}\,y)}{t},$$

und er wird bekannt seyn, sobald man aufser der anfänglichen Temperatur T noch einen einzigen Werth von y kennt, welcher während der Zeit t durch Beobachtung erhalten ist. Bei dem angegebenen Versuche mit atmosphärischer Luft fanden Delaroche und Bérard den Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die äufsere Umgebung oder T = 15°,734 und bei der nachfolgenden Beobachtung, indem das Calorimeter nach aufhörender Strömung der Luft erkaltete, verlor es binnen 20 Minuten 12°,847 C. Hiernach ist also t = 20 Min.; y = 12°,897, demnach a = 0°,0101356 und aT = 0°,159474. Ist hiernach die Zahl der Grade bekannt, welche die atmosphärische Luft dem Calorimeter in 1 Minute mittheilte, so giebt dieses für 10 Minuten 1°,59474. Ein zweiter Versuch gab nahe übereinstimmend 1°,5996. Es wogen aber die im Versuch gebrauchten 35,99 Liter Luft zusammen 45,49 Gramm, und diese übten ihre Wirkung aus auf die so eben gefundenen 596,8 Gramm Wasser, indem sie um 72°,415 C. erkalteten. Hiernach ist also das Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft zu der des Wassers

$$\frac{596,8 \times 1,5996}{45,49 \times 72,415} = 0,2898.$$

Auf eine dritte directe Weise fanden sie diese Gröfse aus einem der mit erhitzter Luft angestellten Versuche, wobei 83,2 Liter oder 108,32 Gramm atmosphärische Luft, unter 0,760 Meter Druck und bei 0° C. Wärme genommen, durch Abgeben von 85° C. Wärme das Calorimeter, welches 580 Gramm Wasser enthielt, um 4° C. erwärmten. Hieraus ergiebt sich die specifische Wärme der atmosphärischen Luft gegen die des Wassers = 0,2697. Aus allen erhaltenen Resultaten nahmen sie im Mittel 0,2669. Werden hiermit die oben angegebenen Gröfsen multiplicirt, so erhalten wir die specifische Wärme der Gase auf die des Wassers reducirt, wie sie die nachfolgende Tabelle angiebt.

Substanzen	spec. Wärme	Substanzen	spec. Wärme.
Wasser	1,0000	Stickgas	0,2754
atmosphärische Luft	0,2669	Salpetergas	0,2369
Wasserstoffgas . .	3,2936	ölerzeugendes Gas	0,4207
Kohlensäure . . .	0,2210	Kohlenoxydgas . .	0,2884
Sauerstoffgas . . .	0,2361	Wasserdampf . . .	0,8470

390) Gegen diese ausnehmend schätzbaren und immer noch als ein Muster vorzüglicher Genauigkeit dienenden Versuche machte W. T. Haycraft[1] einige Einwendungen, vorzüglich die, daſs sie unter sehr verschiedenen Bedingungen angestellt wurden und daher mehrere zusammengesetzte Correctionen bedurften, hauptsächlich aber, daſs die Gase vorher nicht ausgetrocknet waren, weswegen die erhaltenen Resultate nur einem Gemenge von Gas und Wasserdampf zugehörten. Der erste Einwurf fällt von selbst weg, denn die verschiedenen Einflüsse sind allerdings beachtet und corrigirt, was zwar Mühe verursacht, aber der Genauigkeit keinen Abbruch thut. Der zweite ist allerdings gegründet, aber die hieraus erwachsenden Fehler sind durchaus nicht bedeutend; denn die Gase waren in den Gasometern, wo sie mit Wasser in Verbindung standen, von niedriger Temperatur, enthielten also nicht viel Wasserdampf und nahmen nachher keinen mehr auf, wie Haycraft vorauszusetzen scheint; auſserdem aber sind die erhaltenen specifischen Wärmen bloſs relativ, so daſs sich der Einfluſs des Wasserdampfes, der bei allen Gasen vorhanden war, gegenseitig aufhebt, auſser bei der Vergleichung der trocknen atmosphärischen Luft mit solcher, die mit Wasserdampf gesättigt war. Eben durch diesen Versuch lernten aber Delaroche und Bérard die specifische Wärme der trocknen Luft kennen, und der ohnehin nicht absolut genaue, aus mehreren Versuchen gefundene Factor, wodurch die specifischen Wärmen der Gase auf die des Wassers reducirt werden, ist so gewählt, daſs dadurch der durch beigemischten Wasserdampf erzeugte Fehler ein Minimum wird. Gegen Crawford's Versuche gilt der allerdings gegründete, von ihm gleichfalls gemachte Einwurf, daſs die verwandten Quantitäten der Gase zu gering waren.

1 Edinb. Phil. Trans. T. X. p. 195. Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 298. G. LXXVI. 289.

Inzwischen liefs sich HAYCRAFT hierdurch bestimmen, eine Reihe von Versuchen anzustellen. Die Construction des von ihm gebrauchten Apparates läfst sich dem Wesen nach leicht verständlich machen. Um die zu untersuchenden Gase mit atmosphärischer Luft zu vergleichen, wählte er zwei ganz gleiche Stiefel, in welche zugleich atmosphärische Luft und die gewählte Gasart, beide durch Röhren, mit salzsaurem Kalk gefüllt, zum Trocknen durchströmend, mit einem Embolus eingesogen und dann in die Erwärmungsröhren geprefst wurden, von wo aus jede derselben gleichmäfsig erwärmt in das Schlangenrohr eines besonderen Calorimeters gelangte. Da beide Emboli gleichzeitig bewegt wurden und beide Stiefel gleichen Inhalt hatten, so waren auch beide Gasmengen einander gleich und ihre absolute Menge liefs sich aus den Dimensionen der Stiefel finden. Die Verbindungsröhren zwischen dem Heizapparate, worin beide Gase neben einander gleichmäfsig erhitzt wurden, und den Schlangenröhren der Calorimeter waren nur einen Zoll lang und ein in sie gesenktes feines Thermometer diente zum Messen der Temperatur beim Eintritt, so wie ein zweites die Temperatur des Gases bei seinem Austritt aus dem Calorimeter bestimmte; beide hatten Grade nach Fahrenheit, die wieder in 5 Theile getheilt waren, und da man den vierten Theil derselben schätzen konnte, so gaben sie Zwanzigstel dieser Grade an. Die Calorimeter standen in blanken Metallgefäfsen, und letztere standen noch obendrein in Wasser, um den Einflufs der Umgebung zu vermeiden. Dieser wurde aber noch aufserdem dadurch beseitigt, dafs nach RUMFORD's[1] Vorschlage die Calorimeter vor dem Versuche ebenso tief unter die mittlere Temperatur erkaltet wurden, als sie nach dem Versuche über dieselbe hinausgingen. Sollte endlich in den einen, nicht für atmosphärische Luft bestimmten, Stiefel die zu untersuchende Gasart gebracht werden, so durfte man denselben nur durch Aufziehn des Embolus damit füllen; HAYCRAFT zog aber vor, den Stiefel durch eine Luftpumpe zu exantliren, die dann einströmende Gasart durch Niederdrücken des Embolus aus einer durch einen Hahn verschlossenen, kleinen Hülfsröhre entweichen zu lassen, dieses einige Male zu wiederholen und dann den Versuch zu beginnen, wobei sich zeigte, dafs dann das

1 G. XLIV. 8.

Gas beinahe dieselbe Reinheit hatte, als das in den Gasometern. Sofern hiernach alle Bedingungen für die zwei gleichzeitig angewandten Gasarten einander gleich waren, so gab die Wärme der Calorimeter unmittelbar das Verhältnifs ihrer specifischen Wärmen. Der Inhalt eines jeden Stiefels betrug 12 Kubikzoll, die Bewegungen der Emboli wurden nach einer Uhr regulirt und wiederholten sich 120mal in einer Minute, wonach die absolute Menge der während einer Minute durchströmenden Gasart 1440 Kubikzoll betrug, obwohl es unnöthig war, diese absolute Menge in Rechnung zu bringen.

391) Um die Genauigkeit des gewählten Apparates und der beabsichtigten Methode zu prüfen, stellte Haycraft einige vorläufige Versuche an, indem er in beide Stiefel atmosphärische Luft strömen liefs und diese dann durch die Heizröhren und die Calorimeter trieb. Da der Unterschied nicht mehr, als 0°,05 F. betrug, so hielt er sich von der Genauigkeit der zu erwartenden Resultate überzeugt und begann die Versuche selbst. Fünf Versuche gaben die specifische Wärme der Kohlensäure = 0,9730; 0,9919; 1,0035; 1,0021; 1,0000, die der atmosphärischen Luft = 1,0000 gesetzt, die drei letzten Versuche für sich aber geben im Mittel 1,0019 und dieses scheint ihm das Richtigste zu seyn, indem er glaubt, die Gasart sey in den beiden ersten nicht genug von Wasserdampf befreit gewesen. Zwei Versuche mit Sauerstoffgas ergaben mit geringer Abweichung die specifische Wärme desselben der der atmosphärischen Luft vollkommen gleich. Ebendieses war der Fall beim Wasserstoffgas aus Zink und Schwefelsäure. In zwei Versuchen fand Haycraft dieselbe im erstern 0,9222, was er dem Einflusse des noch darin vorhandenen Wasserdampfes beimifst, im zweiten dagegen, insbesondere gegen das Ende desselben, als das Gas länger mit dem salzsauren Kalke in Berührung gewesen und dadurch mehr ausgetrocknet war, fand er dessen specifische Wärme genau so, wie die der atmosphärischen Luft. Das Stickgas zeigte in zwei Versuchsreihen, deren zweite nach Verlauf eines ganzen Jahres der ersten folgte, genau dieselbe specifische Wärme, als atmosphärische Luft. Zu den Versuchen mit Kohlenwasserstoffgas dienten anfangs die im Grofsen bereiteten Leuchtgase, und es ergab sich, dafs die specifischen Wärmen derselben ausnehmend variirten, was jedoch eine Folge des ihnen beigemengten empyrheumatichen Dampfes

seyn soll. Zwei Versuche mit Gas aus vegetabilischem Oele gaben die specifische Wärme im Mittel = 1,0559, ein dritter mit Gas aus Hammelfett gab 1,2777, zwei folgende mit Gas aus Alkohol und Schwefelsäure gaben im Mittel 1,0658. Um auf directem Wege zu ermitteln, ob Aetherdämpfe die Erhöhung der specifischen Wärme herbeiführten, brachte HAYCRAFT in das eine Gasometer, worin sich atmosphärische Luft befand, einige Tropfen Schwefeläther, um mit diesem und zugleich mit Kohlenwasserstoffgas einen vergleichbaren Versuch anzustellen. Beide Calorimeter zeigten sich völlig übereinstimmend, woraus er also schliefst, dafs die Aetherdämpfe in der atmosphärischen Luft auf gleiche Weise sich wirksam bewiesen, als die empyrheumatischen Dämpfe im Kohlenwasserstoffgas, deren Anwesenheit darin er voraussetzt. Aus allen Versuchen folgt also, dafs die specifischen Wärmen der Gase sich umgekehrt verhalten, wie ihre specifischen Gewichte oder wie ihre Dichtigkeiten, sofern gleiche Volumina ungleich dichter Gasarten den Calorimetern gleiche Wärmemengen abgaben, ihre Massen aber der Natur der Sache nach ihren Dichtigkeiten proportional seyn mufsten. Abweichungen von diesem Gesetze sollen Folgen beigemischter Dämpfe seyn.

392) Zu denjenigen Physikern, die bald nach CRAWFORD die specifische Wärme der Gasarten aufzufinden sich bemühten, gehört auch GAY-LUSSAC. Zuerst suchte er diese Gröfse aus den Wärmemengen zu bestimmen, die durch Verdichtung und Verdünnung der Gase frei oder gebunden werden[1], allein die hierbei erhaltenen Resultate, so schätzbar auch die Versuche in anderer Beziehung sind, haben gegenwärtig nicht mehr genügende Wichtigkeit, um eine ausführliche Erörterung zu verdienen. Von der Zeit an war indefs sein Augenmerk fortwährend auch auf dieses Problem gerichtet und er entschlofs sich daher zu einer neuen Reihe von Versuchen[2]. Dafs die Wärmecapacitäten der verschiedenen Gase ungleich seyn müfsten, schlofs er aus der ungleichen Ausdehnung, welche sie im Eudiometer erhalten. Wenn er nämlich gleiche Quantitäten Knallgas im Eudiometer verbrannte, wodurch also eine gleiche Wärme erzeugt wurde, so fand er, dafs gleiche Mengen überflüssig

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 181. G. XXX. 249.
2 Ann. de Chimie. T. LXXXI. p. 98. G. XLV. 321.

darin enthaltenen Wasserstoffgases weniger ausgedehnt wurden, als gleiche Menge zugesetzten Sauerstoffgases, woraus er schloſs, daſs die Wärmecapacität des ersteren Gases gröſser seyn müsse. Diese Versuche stellte er an, indem er die Gase durch Wasser in die Eudiometerröhre aufsteigen lieſs, dann dieselbe aus der Wasserwanne in eine Quecksilberwanne brachte, dabei für gleich tiefes Eintauchen sorgte, dann das vorhandene Knallgas verbrannte und beobachtete, wie viel Maſs ausgetrieben und durch eingedrungenes Quecksilber ersetzt war. Es versteht sich aber von selbst, daſs diese Messungen zu unvollkommen waren, als daſs sie dem Experimentator genügen konnten. Gay-Lussac wählte daher eine andere, früher nicht angewandte Methode. Er argumentirte, daſs zwei Gase von gleichen Wärmecapacitäten, wenn sie bei ungleichen Temperaturen vereint werden, die mittlere Wärme beider annehmen müssen, was aber bei ungleichen Capacitäten der Fall nicht seyn kann. Man übersicht bald, daſs diese Methode genau die der Mischungen ist. Zu den Versuchen nahm er zwei Gasometer, in denen die zwei Gase gesperrt waren, bewerkstelligte, daſs in beide in gleichen Zeiten gleiche Mengen Wasser flossen, mithin gleiche Mengen jedes Gases ausströmten, leitete dann beide durch Zwischenröhren mit salzsaurem Kalke, um sie auszutrocknen, und vereinigte sie in einer weiten Röhre, worin sich ein Thermometer befand. Die eine Gasart wurde durch eine kaltmachende Mischung ebenso tief unter die Temperatur der Umgebung erkältet, als die andere über dieselbe erwärmt, so daſs sie vereint einen Unterschied = 0 über oder unter die Umgebung zeigen muſsten. Bei den Probeversuchen mit ungleich erwärmter atmosphärischer Luft gebrauchte Gay-Lussac noch die Vorsicht, daſs er die Gasometer verwechselte und bald das eine, bald das andere für heiſse oder kalte Luft bestimmte; in allen Fällen aber war das Resultat = 0 und die Methode zeigte sich daher hierdurch als zweckmäſsig. Ebenso verfuhr er auch bei den Mengungen von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft, womit er 12 Versuche anstellte, mit den übrigen Gasarten aber stellte er nur vier Versuche an, und nie wichen die Resultate um mehr als 0°,5 C. von einander ab. Die mittleren gefundenen Werthe sind in folgender Uebersicht enthalten, wobei die Temperaturen Grade über oder unter der der Umgebung bezeichnen.

Temperaturen vor der Mengung		Temperaturen nach der Mengung
kohlensaures Gas	— 24°	0°,4
atmosphärische Luft	+ 25,5	
Wasserstoffgas	+ 23	0,2
kohlensaures Gas	— 23	
Wasserstoffgas	— 22	0,0
atmosphärische Luft	+ 22	
atmosphärische Luft	+ 22	0,8
Sauerstoffgas	— 21	
atmosphärische Luft	— 21	0,4
Stickgas	+ 21	

Aus diesen Resultaten folgerte Gay-Lussac, dafs die specifischen Wärmecapacitäten der Gase, und daher auch aller expansibeln Flüssigkeiten, bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke einander gleich seyen; inzwischen spricht er diesen Satz nicht als einen wohl begründeten aus, sondern sagt blofs, derselbe scheine richtig zu seyn. Fortgesetzte Versuche[1] ergaben auch bald, dafs dieses Gesetz insofern unstatthaft sey, als sich die Wärmecapacitäten allerdings mit den Temperaturen ändern, was sich gerade hierbei zeigen mufste; der Fehler aber hatte seinen Grund in der zu geringen Menge der zu den Versuchen verwandten Gase. Gay-Lussac nahm daher später grofse Gasometer, deren jedes 80 Liter Inhalt hatte, und da beide gleich grofs waren, so liefs sich das gleichzeitige Ausströmen gleicher Mengen Gas dadurch leicht erreichen, dafs beide mit einem Verbindungsrohre verbunden wurden, um das in sie einfliefsende, die Gasart austreibende Wasser in beiden auf gleichbleibender Höhe zu erhalten.

393) Uebergehn wir die mit der vorliegenden Aufgabe im nahen Zusammenhange stehenden Versuche von Dulong und Petit über das ungleiche Erkalten der Körper in verschiedenen Gasen, woraus die specifischen Wärmecapacitäten der letzteren sich ableiten liefsen, deren wesentlicher Inhalt oben (§. 247) bereits mitgetheilt worden ist, so verdienen vorzüglich die Untersuchungen von Marcet und Delarive[2] hier erwähnt zu wer-

1 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 106. G. XLVIII. 395.

2 Biblioth. univ. 1827. Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 1. Poggendorff's Ann. X. 363. Mém. de la Soc. de Phys. de Génève. T. IV. p. 255.

den. Bei voller Anerkennung des hohen Werthes der Versuche von Delaroche und Bérard stellen sie mehrere Einwürfe dagegen auf, die zum Theil nicht ungegründet sind. Nach ihrer Ansicht gaben die Gase bei dem von jenen gewählten Verfahren nicht bloſs ihre specifische Wärme an das Calorimeter ab, sondern auch diejenige, die ihre Ausdehnung bewirkte, was zwar bei festen und tropfbar flüssigen Körpern wegen ihrer geringen Ausdehnung nicht bedeutend seyn soll, wohl aber bei den sehr ausdehnsamen Gasen[1]. Es läſst sich jedoch auf diesen Einwurf erwidern, daſs man bei allen Körpern gerade das Verhältniſs der Wärmequantitäten sucht, welches eine Erhöhung ihrer Temperatur und die damit nothwendig verbundene Volumensvermehrung bedingt. Zweitens geben die verschiedenen Gase in schnellerer oder kürzerer Zeit ihre Wärme sowohl an die zum Calorimeter leitende Röhre, als auch an das Wasser des Calorimeters ab; allein auch hier läſst sich entgegnen, daſs zuerst nicht die an die Zuleitungsröhre leichter oder schwerer abgegebene, sondern bloſs die von dieser ausgestrahlte Wärme in Betrachtung kommt, die bei allen Gasen durch die Beschaffenheit der Röhre bedingt, mithin gleich war, und daſs zweitens in Beziehung auf das Calorimeter, ohne die Zeitdauer der Versuche zu berücksichtigen, bloſs die ihm mitgetheilte Wärme und der Unterschied der Temperaturen der Gase beim Eintritt und Austritt derselben berücksichtigt wurden. Allerdings wächst die Menge der von den Wandungen des Calorimeters ausstrahlenden Wärme durch die längere Zeitdauer, allein der hierdurch mögliche Fehler wurde mindestens bis auf eine verschwindende Gröſse dadurch vermieden, daſs das Calorimeter das Maximum seiner Temperatur annehmen muſste. Gegründeter ist wohl ein dritter Einwurf gegen die genaue Bestimmung der Temperatur der einströmenden Gase, welche Delaroche und Bérard als die mittlere zwischen derjenigen annahmen, welche dieselben im Heizapparate erhielten und welche das Thermometer zeigte, indem letzteres noch anderweitigen Bedingungen, namentlich der Strahlung, unterworfen war. Ob daher die angenommene mittlere Wärme wirklich die genau richtige war, ist keineswegs über jeden Zweifel erhaben, und es läſst sich daher nicht in Abrede stellen, daſs

1 Eine nähere Erörterung dieses Problems s. in §. 403.

hieraus allerdings Unrichtigkeiten erwachsen konnten. Ein vierter Einwurf, aus dem in den Gasen enthaltenen Wasserdampfe hergenommen, ist oben (§. 390) bereits gewürdigt worden, und auch dieser, wenn gleich von nicht sehr grofser Bedeutsamkeit, läfst sich nicht ganz beseitigen. Minder erheblich möchte endlich fünftens seyn, dafs nicht alle Bedingungen bei den sämmtlichen Versuchen völlig gleich waren, denn hierauf ist durch die zahlreichen Correctionen möglichste Rücksicht genommen.

Marcet und Delarive wählten zu ihren Versuchen einen 4 Centimeter im Durchmesser haltenden Ballon von sehr dünnem Glase, füllten ihn mit dem zu untersuchenden Gase, brachten ihn auf eine bestimmte Temperatur, setzten ihn während einer genau gemessenen Zeit einer Wärmequelle aus und mafsen die dadurch erzeugte Temperatur durch die vermehrte Elasticität des Gases selbst, wobei sie Sorge trugen, dafs die Zeit des Erwärmens stets nur kurz war und daher keine Gasart sich mit der Temperatur der Wärmequelle ins Gleichgewicht setzen konnte. Der Apparat bestand aus dem genannten Fig. 63. Ballon A, welcher zum Einfüllen des Gases diente; die beiden eisernen Hahne B und C gestatteten, den Ballon von der Röhre abzuschliefsen, ohne dafs die äufsere Luft in diese oder in den Ballon dringen konnte; das Zwischenstück zwischen beiden hatte aber eine so kleine Oeffnung, dafs die darin befindliche Menge von Luft nicht in Betrachtung kommen konnte, um so mehr, als sie nie in den Ballon drang, sondern stets in die Röhre getrieben wurde. Der verticale Arm der Verbindungsröhre DE tauchte mit seinem unteren Ende in das trockne Quecksilber des Gefäfses F; zum Messen der Höhe der aufsteigenden Quecksilbersäule diente die in Millimeter getheilte und mit einem Nonius zum Ablesen der Zehntel versehene Scale. Für jeden Versuch wurden der Ballon und die Röhre mit der zu prüfenden Gasart gefüllt. Bei der Röhre geschah dieses leicht, indem man einen Strom des Gases durch dieselbe trieb, bis die atmosphärische Luft entwichen war; es mufste aber zugleich dafür gesorgt werden, dafs das Quecksilber wenigstens 8 bis 10 Centimeter in der Röhre aufgestiegen war. Der Ballon wurde zuerst mittelst einer Luftpumpe evacuirt, dann wiederholt mit der erforderlichen Gasart gefüllt und wieder evacuirt, um hierdurch die letzten Antheile der früher darin

befindlichen Gasart zu entfernen, und nach der letzten Füllung reines Gas darin zu haben. Der Ballon wurde dann an die Röhre geschraubt, nach dem Oeffnen beider Hahne mufste aber das in der Röhre DE aufgestiegene Quecksilber etwas herabsinken, was dadurch zu erreichen war, dafs das Gas in der Kugel eine wenig gröfsere Elasticität hatte, als in der Röhre. Auf diese Weise war es möglich, stets mit Gasen unter gleichem Drucke von nahe 0,63 Meter Quecksilberhöhe zu experimentiren. Durch Temperaturänderung mufste auch das Volumen der Gasart sich verändern, und es war leicht, die erstere aus dem letzteren zu entnehmen, wobei die bekannten Bestimmungen von Gay-Lussac zum Grunde lagen. Heifst nämlich l' die Gröfse eines jeden Centesimalgrades für einen gegebenen Druck, n die Anzahl von Centesimalgraden, die einem gegebenen Unterschiede in der Höhe der Quecksilbersäule entspricht, p die Barometerhöhe, t die Temperatur, wobei man beobachtet, a die Höhe der Säule bei der Temperatur t, a' die Höhe derselben bei der unbekannten Temperatur, so ist

$$l = \frac{(p - a)(0{,}00375)}{1 + 0{,}00375\,t}$$

$$n = \frac{(a - a')(1 + 0{,}00375\,t)}{(p - a)(0{,}00375)}.$$

Die Scale erlaubte Zehntel eines Millimeters genau abzulesen, und ei dem Drucke, welcher für die Versuche gewählt worden war, ntsprach jeder Centesimalgrad ungefähr einer Aenderung der)uecksilberhöhe von 2,5 Millimeter, so dafs also noch 0°,04 C. vahrgenommen werden konnte. Diese Methode, die Tempeatur der Gase durch ihre eigene Ausdehnung zu messen, hat ntschiedene Vorzüge, und da aufserdem das Volumen der Gase tets unter gleichem Drucke war, also keiner Correction desregen bedurfte, jede Gasart aber vorher völlig ausgetrocknet vurde, so beruhn hierauf unverkennbare Vorzüge der hier geählten Methode des Experimentirens. Ein wesentlicher Umtand war aber die Erwärmung des Ballons, und hierzu dienn zwei Verfahrungsarten.

394) Bei der ersten Versuchsreihe senkten Marcet und elarive die Kugel in ein kleines hölzernes Gefäfs mit dicken Vandungen, worin Wasser genau auf einer Temperatur von 0° C. erhalten wurde, und liefsen sie so lange darin, bis sie

diese Wärme genau und allgemein angenommen hatte, was sich durch bleibendes Stillstehn der Quecksilbersäule in der Röhre DE zeigte. Das kleine Wassergefäfs, welches in einem weit gröfseren, mit etwas über 30° C. warmem Wasser gefüllten Gefäfse hing, und dem Einflusse dieser gröfseren Wärme der Umgebung durch seine dicken hölzernen Wandungen hinlänglich lange widerstand, fiel auf ein gegebenes Zeichen plötzlich in dem gröfseren hinab, beide Wassermassen vereinigten sich, und erlangten dadurch genau die Temperatur von 30° C. Hierin blieb der Ballon eine genau gemessene Zeit von nicht mehr als 4 Secunden und nahm während derselben in einer 20° C. höheren Temperatur, als die seinige, eine gewisse Wärme an, die sich durch das Sinken der Quecksilbersäule in Folge der Ausdehnung des im Ballon enthaltenen Gases kund gab. Um aber zugleich über die Wärme des Wassers eine scharfe Bestimmung zu erhalten, wurde nicht der Stand der Quecksilbersäule, welchen sie nach Verlauf dieser 4 Secunden hatte, zur Vergleichung genommen, sondern das Verhältnifs zwischen der Zahl von Millimetern, die das Quecksilber in diesen 4 Secunden fiel, und derjenigen, die es gefallen war, wenn es sich mit der Temperatur des Wassers im Gleichgewichte befand. Zur genaueren Messung diente das Verfahren, dafs auf das erste Zeichen desjenigen, welcher das Quecksilber in der Röhre beobachtete, das kleine Wassergefäfs herabfiel, nach 4 Secunden aber wurde der Hahn des Verbindungsstückes geschlossen, um den Stand der Quecksilbersäule genau abzulesen, dann wieder geöffnet und abgewartet, bis das Quecksilber zum Stillstand kam. Wird dann die Temperatur, welche das Gas bei diesem Stillstande erlangt hatte, als Einheit angenommen, so nahmen die verschiedenen Gase in den ersten 4 Secunden folgende Temperaturen an:

Wasserstoffgas	0,85	kohlensaures Gas . . .	0,77
atmosphärische Luft .	0,83	ölbildendes Gas . . .	0,75
Sauerstoffgas	0,80	Stickstoffoxydul . . .	0,73.

Inzwischen fürchteten die Experimentatoren, dafs das ungleiche Wärmeleitungsvermögen der Gase auf diese Resultate einen störenden Einflufs äufsern möchte, und hierin wurden sie durch die Uebereinstimmung bestärkt, welche sie zwischen diesen

Resultaten und denjenigen wahrnahmen, die von DULONG und PETIT beobachtet worden waren, als sie Körper in verschiedenen Gasarten erkalten liefsen (§. 247). Noch weiter ergab sich dieses, als sie ähnliche Versuche mit gröfseren Gasmengen und bei einem Temperaturunterschied von 10° bis 20° anstellten, wobei die specifische Wärme sich gleich zeigen mufste, dennoch aber die erhaltenen Resultate abweichend waren[1]. Diese Gründe bestimmten sie, eine andere Methode der Erwärmung des Ballons zu wählen.

395) Sie schlossen denselben zu diesem Ende in einen gröfseren Ballon GHK von dünnem Kupferblech ein, welcher 18 Centimeter im Durchmesser hielt, inwendig eine mit Rufs überzogene Oberfläche hatte und unten mit einem Hahnstücke versehn war, um ihn auf der Luftpumpe zu exantliren. Die Mittelpuncte beider Ballons fielen zusammen; der eingesenkte kleinere war aber oben in die Fassung des gröfseren eingeschraubt, letzerer wurde vermittelst der Luftpumpe exantlirt, bis auf 3 Millimeter Quecksilberhöhe, und es wurde Sorge getragen, dafs dieser Grad der Verdünnung sich bleibend erhielt. Ward dann der äufsere Ballon in Wasser von höherer Temperatur gebracht, so erhielt der innere blofs diejenige Wärme, welche ihm durch Strahlung der inneren Wandungen des gröfseren zuströmte, und es dauerte lange, bis das Quecksilber in der Röhre zum Stillstande kam; für die Messungen schien aber ein Zeitraum von 5 Minuten am geeignetsten. Bei jedem Versuche, nachdem der äufsere und innere Ballon gehörig vorgerichtet waren, wurde die kupferne Kugel in Wasser von 20° C. gesenkt und diese Wärme unveränderlich erhalten. Nach einiger Zeit kam das Quecksilber in der Röhre zum Stillstande und das Gas im Ballon hatte somit die Temperatur von 20° C. angenommen, worauf man den Stand des Quecksilbers aufzeichnete. Momentanes Eintauchen der kupfernen Kugel machte das Quecksilber einige Millimeter steigen, worauf dieselbe rasch

1 Es ist wohl nicht schwierig, wie MARCET und DELARIVE meinen, von der Art der Wärmefortpflanzung in den Gasen sich eine Vorstellung zu machen, denn diese beruht theils auf dem Uebergange der Wärme von einem Molecüle der Gasart zu einem andern und zugleich auf der Bewegung dieser Molecüle selbst. Welcher ungleiche Antheil der Wärmeleitung aber der einen oder der andern dieser Ursachen angehöre, dieses ist allerdings schwer bestimmbar.

in Wasser von 30° C. Wärme getaucht wurde. Es erfolgte nach einiger Zeit ein Sinken des Quecksilbers, sobald es aber den frühern Stand erreicht, und also die im kleinen Ballon enthaltene Luft die Temperatur von 20° angenommen hatte, wurde ein Zeitraum von 5 Minuten genau gemessen, nach Verlauf derselben schloſs man den Hahn, zeichnete den Stand des Quecksilbers auf, woraus die Wärmemenge sich ergab, die das Gas während dieser Zeit angenommen hatte, öffnete dann den Hahn wieder und wartete, bis das Quecksilber seinen tiefsten Stand erreicht, also das Gas die Temperatur seiner Umgebung angenommen hatte. Da die Massen des Wassers sehr groſs waren, so machte es nicht bedeutende Schwierigkeiten, die Wärme desselben constant zu erhalten. Für 20° war dieses durchaus gar nicht schwierig, für 30° diente das einfache Mittel, dasselbe anfangs bis 30°,2 zu erwärmen, wonach es durch Ausstrahlung während 5 Minuten bis 29°,8 herabging und daher im Mittel als 30° warm betrachtet werden konnte. War es aber darum zu thun, das totale Sinken des Quecksilbers kennen zu lernen, welches einer Temperatur von 30° zugehörte, so wurde das Wasser fortwährend bei dieser Wärme erhalten[1]. Es versteht sich von selbst, daſs durch stetes Umrühren des Wassers die gesammte Masse desselben bei gleichmäſsiger Wärme erhalten wurde. Unter diesen Bedingungen, da der Temperaturunterschied nicht groſs, die Zeitdauer verhältniſsmäſsig lang (5 Minuten) und die Gesammtmenge des zu erwärmenden Gases nur klein (ungefähr 33 Kubik-Centimeter) war, lieſs sich ein hoher Grad von Genauigkeit erreichen. Um dieses gehörig zu würdigen, kommt noch Folgendes in Betrachtung.

Sofern sich der kleine Ballon mit dem in ihm enthaltenen Gase in einer und derselben gröſseren Kugel eingeschlossen befand und der ganze Apparat stets auf die nämliche Temperatur gebracht wurde, muſste dem inneren Ballon durch gleiche Erwärmung des äuſsern jedesmal eine gleiche Menge Wärme zu-

1 Aus eigener Erfahrung habe ich mich überzeugt, daſs dieses, was bei solchen Versuchen am angemessensten ist, durch Unterstellen einer kleinen Weingeistlampe oder Zugieſsen von heiſserem Wasser in kleinen Quantitäten leicht zu erreichen ist, nur muſs ein geübter Gehülfe dieses Geschäft ausschlieſslich besorgen.

strömen, er mufste also der eingeschlossenen Gasart jedesmal dieselbe Wärmemenge mittheilen, und dieses dadurch nach dem Verhältnifs seiner Wärmecapacität eine verschiedene Temperatur erhalten. Die Gase wurden sämmtlich mit gehöriger Sorgfalt bereitet, um als völlig rein betrachtet zu werden, demnächst wurden sie durch Chlorcalcium geleitet, wodurch sie jeden Antheil von Wasserdampf abgaben, und endlich über trocknem Quecksilber aufgefangen.

396) Die zu den oft wiederholten Versuchen genommenen Gasarten waren atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Stickgas, Wasserstoffgas, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, salpetrigsaures Gas, Schwefelwasserstoffgas, Ammoniak, schwefligsaures Gas, Chlorwasserstoffsäure und Cyangas. Oftmals mit demselben Gase gemachte Versuche führten aber zu dem unerwarteten Resultate, dafs sie insgesammt binnen der normalen Zeit von 5 Minuten die nämliche Temperatur erhielten, denn bei jedem sank das Quecksilber 14°,3 bis 14°,4 Millimeter, und zwar wurden beide Werthe sowohl bei der nämlichen Gasart durch wiederholte Versuche, als auch bei den verschiedenen Gasen erhalten, so dafs man den Unterschied dieser Gröfsen als die erreichte Fehlergrenze ansehn kann. Jede Gasart stand bei 20° C. unter 0,65 Meter Druck, und demnach mufste das Quecksilber in der Röhre der Berechnung gemäfs um 22,7 Millimeter fallen, wenn das Gas 30° Wärme erhielt, was auch durch die Erfahrung vollkommen bestätigt wurde. Auf gleiche Weise läfst sich die Temperatur finden, welche die Gase angenommen hatten, wenn das Quecksilber 14,3 Millim. gefallen war, nämlich 26°,30 und ebenso 26°,34 für 14,4 Millimeter; die Gase waren also um 6°,33 im ersten Falle und um 6°,34 im zweiten erwärmt, der Unterschied beträgt nur 0°,01, eine ungemein kleine Gröfse, und hierauf gründet sich die Folgerung, dafs die specifische Wärme aller Gase unter 0,65 Meter Druck für gleiche Volumina dieselbe sey. Blofs das Wasserstoffgas ward allezeit stärker erwärmt, denn in widerholten Versuchen fiel das Quecksilber jedesmal 15 Millimeter, was einer Temperaturvermehrung von 6°,6 zugehört. Marcet und Delarive glauben jedoch, dafs dieser Unterschied nicht von einer geringeren Wärmecapacität desselben, sondern von seiner besseren Leitungsfähigkeit herrühre. Uebrigens beschänkten sie sich nicht blofs

darauf, die Temperatur zu beobachten, welche die Gase nach 5 Minuten erhalten hatten, sondern sie richteten ihre Aufmerksamkeit auch auf diejenige, welche ihnen nach 2 Min. und nach 4 Min. mitgetheilt worden war; bei der ersteren machten sie insgesammt gleichmäſsig das Quecksilber um 8 Millim. sinken, welches einer Temperaturerhöhung von 3°,5 zugehört, nach 4 Minuten aber sank das Quecksilber um 12,5 Millimeter, was einen Zuwachs der Temperatur von 5°,5 C. anzeigt. Beide Beobachtungen waren etwas schwierig, weil der Hahn nicht, wie nach den normalen 5 Minuten, geschlossen wurde, inzwischen glauben sie, daſs der begangene Fehler nie mehr als 0,2 bis 0,3 Millim. betragen habe, und dieses gehört einer Temperatur von 0°,08 und 0°,12 zu. Es scheint also hiernach der Satz begründet zu seyn, daſs alle Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen eine gleiche specifische Wärme besitzen, und daſs also die specifische Wärme derselben, wenn man sie auf die Massen reducirt, ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sey.

397) Um den Einfluſs des Druckes auf die specifische Wärme der Gase zu ermitteln, behielten sie den vorigen Apparat bei, verlängerten aber die Röhre mit der Quecksilbersäule bis 60 oder 70 Centimeter, statt daſs es früher nur 15 Centimeter lang war. Die stärkere Verdünnung der Gase in dem kleinen Ballon bewirkte dann ein stärkeres Aufsteigen der Quecksilbersäule in diesem Rohre, deren Höhe vom Barometerstande abgezogen die Dichtigkeit des Gases gab. Durch ein dem beschriebenen ganz gleiches Verfahren fanden sie, daſs bei den nachfolgenden Dichtigkeiten die Gase während 5 Minuten um folgende Thermometergrade erwärmt wurden.

Unter	0,650	Meter	Druck	in	5 Minuten	um	6°,30
—	0,590	—	—	— —	—	—	6,55
—	0,437	—	—	— —	—	—	6,90
—	0,370	—	—	— —	—	—	7,01
—	0,258	—	—	— —	—	—	7,30.

Wird also die Gasart weniger dicht, so wächst die Wärme, welche ein gleiches Volumen während derselben Zeit und unter gleichen Bedingungen annimmt. Die hier angegebenen Gröſsen wurden durch Versuche mit atmosphärischer Luft erhalten, andere mit Wasserstoffgas, ölbildendem Gas und Koh-

lensäure angestellt, bestätigten das gefundene Gesetz vollkommen. Merkwürdig war hierbei der Umstand, dafs das Wasserstoffgas sich in diesen Versuchen genau, wie alle übrigen Gase verhielt, woraus hervorgeht, dafs der bei den Versuchen unter einem Drucke von 0,65 Metern wahrgenommene Unterschied eine Folge seines besseren Leitungsvermögens seyn mufs, welches nach DULONG und PETIT bei verminderter Dichtigkeit desselben verschwindet. Durch eine leichte Abänderung des gebrauchten Apparates, indem die in Quecksilber gesenkte Mefsröhre heberförmig aufgebogen war, konnten MARCET und DELARIVE ihre Versuche auch auf Gase unter höherem, als atmosphärischem Drucke ausdehnen. Sie gaben mit den entgegengesetzten gleiche Resultate, denn die Wärmecapacität nahm mit der Dichtigkeit zu, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als dem der Quadratwurzeln der Elasticitäten. Ihre Versuche erstreckten sich auf Verdichtungen bis zu 0,8 ja selbst 0,9 Meter Quecksilberhöhe, und alle geprüfte Gase zeigten sich hierin übereinstimmend, wodurch dasjenige Bestätigung erhält, was DELAROCHE und BÉRARD bereits gefunden hatten (§. 386). Es folgt also aus allen diesen Versuchen, dafs die specifische Wärme aller Gase für gleiche Volumina und gleiche Elasticitäten die nämliche ist, und zugleich nach einem nicht genauer bestimmten Gesetze mit zunehmender Elasticität in einem wenig zunehmenden Verhältnisse wächst. Der erste wichtige Satz findet theoretisch eine Bestätigung darin, dafs alle Gase sich durch gleiche Grade der Wärme gleichmäfsig ausdehnen, wonach also die nämlichen Wärmemengen bei allen gleiche Wirkungen hervorzubringen scheinen. Für das zweite Verhalten haben die Experimentatoren selbst kein eigentliches Gesetz aufgestellt, wohl aber ist dieses durch PREVOST[1] geschehn, welcher seine Hypothese über den Wärmestoff dabei zum Grunde legt, und hiernach folgende Formel aufstellt.

$$\sqrt[3]{p'} : \sqrt[3]{p} = t : t',$$

worin p den gemessenen, p′ den gegebenen Druck, t die beobachtete und t′ die gesuchte Temperatur bezeichnen. Im vorliegenden Falle, bezüglich auf die unter stets vermindertem Drucke erhaltenen Resultate hätte man also

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIX. p. 194. Poggendorff's Ann. XIV. 595.

$$\sqrt[3]{p'} : \sqrt[3]{0,65} = 6°,3 : x.$$

Die Berechnung der gegebenen Gröſsen giebt folgende Uebersicht:

Versuche Nr.	Druck in Metern	Erwärmung in 5 Minuten berechnet	Erwärmung in 5 Minuten beobachtet	Unterschied	Verhältniſs der Unterschiede zu den berechneten Graden
1	0,650	...	6,30	...	......
	0,590	6,51	6,55	— 4	0,006
	0,487	6,94	6,90	+ 4	0,066
	0,370	7,60	7,01	+ 59	0,077
5	0,258	8,58	7,30	+ 128	0,149

Das stete Wachsen der Unterschiede ist hierbei zu auffallend, als daſs Prevost selbst es übersehn konnte, und er glaubt daher, daſs noch eine fremde Ursache mitwirkend seyn müsse. Um genauere Resultate zu erhalten, und hauptsächlich die letzten groſsen Unterschiede wegzuschaffen, schlägt er daher vor, jede folgende Gröſse aus der unmittelbar vorhergehenden zu berechnen. Hiernach erhielte man

$$\sqrt[3]{0,258} : \sqrt[3]{0,370} = 7,01 : x,$$

wodurch die Unterschiede in 0,073 und 0,076 verwandelt werden, allein auch hierbei wird die Zunahme sichtbar, die natürlich bei jedem einzelnen Gliede kleiner seyn muſs, als wenn sie summirt wird, aber auf jeden Fall ist auf diese Weise kein allgemeines Gesetz zu erhalten.

Marcet und Delarive haben die Wärmecapacitäten nicht auf das specifische Gewicht der untersuchten Gase reducirt und ebenso nicht auf die des Wassers. Sobald die letztere Bestimmung in genügender Genauigkeit vorhanden ist, hat die erstere keine Schwierigkeiten. Immerhin kann aber die durch Delaroche und Bérard aufgefundene Reduction der specifischen Wärme der trocknen atmosphärischen Luft auf die des Wassers als hinreichend genau gelten, und es ist dann leicht, diese für atmosphärische Luft, und somit für alle Gase geltende Gröſse durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren, um die specifischen Wärmen derselben für gleiche Massen zu

erhalten. Durch dieses Verfahren sind die in der angehängten Tabelle gegebenen Bestimmungen gefunden worden.

398) Inzwischen wurden Marcet und Delarive bewogen, die hier aufgestellten Sätze noch durch eine nachträgliche Reihe von Versuchen zu bestätigen[1]. Es wurde ihnen nämlich der Einwurf gemacht, die Masse der in der Kugel eingeschlossenen Gase sey an sich und namentlich im Verhältnifs zu der sie einschliefsenden Glaskugel zu gering gewesen, um so kleine Unterschiede, als hierbei statt fänden, anzugeben. Hiergegen rechtfertigten sie sich durch nähere Angabe der ungleichen Temperaturen, die sie bei denselben Gasen unter verschiedenem Drucke beobachtet hatten, denn diese erhielten unter den nämlichen Bedingungen der Erwärmung, wenn sie 10° warm einer Umgebung von 20° ausgesetzt wurden, binnen 5 Minuten folgende Temperaturen.

Gase	Barometerdruck	Erwärmung
atmosphärische Luft	0,66 Meter	6°,70 Cent.
	0,46 —	7,64 —
	0,25 —	8,55 —
kohlensaures Gas .	0,68 —	6°,66 —
	0,55 —	6,96 —
	0,42 —	7,80 —
	0,27 —	8,45 —
	0,17 —	9,50 —
Stickstoffoxydulgas	0,67 —	6°,69 —
	0,50 —	7,20 —
	0,37 —	7,60[2] —
	0,27 —	8,50 —
Wasserstoffgas . .	0,65 —	7°,00 —
	0,50 —	7,40 —
	0,32 —	8,10 —
	0,22 —	8,60 —

Hierbei sind allerdings die Unterschiede der erhaltenen Temperaturen sehr bedeutend, und das hierauf gegründete Argu-

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 78. Bibl. univ. T. XLI. p. 37. Poggendorff's Ann. XVI. 340.

2 Diese Gröfse halten die Experimentatoren für nicht hinlänglich genau.

ment, dafs auch die Unterschiede der specifischen Wärmen, wenn solche vorhanden wären, sich hätten zeigen müssen, ist nicht ohne bedeutendes Gewicht. Nimmt man die atmosphärische Luft 15mal so schwer an, als das Wasserstoffgas, so war die Masse dieses Gases zu der der Luft in den Versuchen gleichfalls in diesem Verhältnisse, dagegen aber betrug der Unterschied der Masse bei atmosphärischer Luft unter 0,66 Meter und 0,25 Meter Druck nur etwas mehr als die Hälfte und ebenso bei Wasserstoffgas unter 0,65 und 0,32 Meter Druck nicht mehr als die Hälfte, und dennoch gab jene 1°,85, diese aber 1°,1 Unterschied der Temperaturen. Hieraus geht wohl überzeugend hervor, dafs der Unterschied der Wärmecapacitäten bei den Gasen unter gleichem Drucke und für gleiche Volumina auf jeden Fall nicht grofs seyn kann, wollte man auch eine absolute Gleichheit in Zweifel stellen, denn ein irgend bedeutender Unterschied mufste nothwendig aus den angestellten Versuchen hervorgehn.

Inzwischen begnügten sich Marcet und Delarive mit diesem Beweise der Genauigkeit ihrer früheren Versuche nicht, sondern sie wiederholten sie vielmehr mit einer weit gröfseren Kugel, die aber dennoch so dünn war, dafs sie nur 22 Gramm wog und bei einem Drucke von 0,68 Meter Barometerhöhe und 12° C. Temperatur 0,4 Gramm atmosphärische Luft enthielt. Die Quecksilberröhre hatte 4 Millim. im Durchmesser, die Wirkung der Capillarität war also nicht grofs, und das Quecksilber konnte sich frei in ihr bewegen; sie war aufserdem 12 Centimeter über der Kugel durch einen gläsernen eingeschliffenen Hahn unterbrochen, und so konnten durch Entfernung jedes Kittes und jedes Metalles auch Chlor und Schwefelwasserstoffgas untersucht werden, nur mufste dann die Röhre mit atmosphärischer Luft gefüllt seyn, um den Zutritt der genannten Gase zum Quecksilber zu verhüten. Hieraus entstanden indefs keine Fehler, denn alle einzelne, mit diesen Gasen angestellte, Versuche gaben unter sich völlig übereinstimmende Resultate. Die wie die frühere eingerichtete äufsere kupferne Kugel hatte 22 Centim. oder nahe 8 Zoll Durchmesser, und es ward stets darauf geachtet, dafs sie gehörig luftleer blieb, auch alle Theile des Apparates in gutem Stande waren. Die Elasticität des in den Ballon gebrachten Gases betrug nahe 0,69 Meter Quecksilberhöhe, die kupferne Kugel aber, nachdem sie gehörig

exantlirt war, wurde im Wasser bis genau 12°,5 erkältet, und der bleibende Stand des Quecksilbers in der Glasröhre zeigte, daſs auch das Gas im Ballon genau diese Temperatur angenommen hatte. Demnächst ward die kupferne Kugel schnell in Wasser von 31° C. gebracht, worauf sehr bald das Quecksilber in der Röhre zu sinken begann. Von dem Augenblicke an, wo dieses anfing, ward von Minute zu Minute beobachtet, um wieviel dasselbe herabgesunken war, woraus sich die successiven Erwärmungen des jedesmal untersuchten Gases entnehmen lieſsen. Jeder Versuch wurde mehrmals wiederholt, obgleich die nächstfolgenden Resultate von den vorhergehenden nur unmerklich abwichen. Daſs dabei alle mögliche Vorsichtsmaſsregeln angewandt wurden, muſs man der Versicherung der gewissenhaften Experimentatoren zutrauen, die auch namentlich jederzeit untersuchten, ob kein Theil des Apparates während der Versuchsreihe in Unordnung gerathen war. Die folgende Tabelle enthält die ausführlich mitgetheilten Resultate.

Gase	Beobachtungszeiten	Depressionen des Quecksilbers	Grade der Erwärmung
atmosphärische Luft	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,1 —	11,24
	4 —	31,5 —	12,60
	5 —	33,5 —	13,40
	6 —	34,6 —	13,84
	7 —	35,4 —	14,16
	8 —	36,0 —	14,40
Kohlensäure	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,0 —	11,20
	4 —	31,5 —	12,60
	5 —	33,7 —	13,48
	6 —	34,7 —	13,88
	7 —	35,5 —	14,20
	8 —	35,9 —	14,36
Stickstoffoxydul . . .	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,0 —	11,20
	4 —	31,3 —	12,52
	5 —	33,4 —	13,36
	6 —	34,5 —	13,80
	7 —	35,5 —	14,20
	8 —	36,0 —	14,40

Gase	Beobachtungszeiten	Depressionen des Quecksilbers	Grade der Erwärmung
ölbildendes Gas . . .	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,0 —	11,20
	4 —	31,5 —	12,60
	5 —	33,1? —	13,24
	6 —	34,5 —	13,80
schweflige Säure . .	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,0 —	11,20
	4 —	31,5 —	12,60
Schwefelwasserstoff .	2 Minuten	23,0 Millim.	9°,20
	3 —	28,1 —	11,23
	4 —	31,7 —	12,68
Chlorgas	2 Minuten	22,9 Millim.	9°,16
	3 —	28,0 —	11,20
	4 —	31,6 —	12,64
	5 —	33,5 —	13,40
	6 —	34,4 —	13,76
Wasserstoffgas	2 Minuten	23,6 Millim.	9°,44
	3 —	29,0 —	11,60
	4 —	32,0 —	12,80
	5 —	33,8 —	13,52
	6 —	34,7 —	13,88
	7 —	35,5 —	14,20
	8 —	36,1 —	14,41

Bei der schwefligen Säure, dem Schwefelwasserstoffgas und dem Chlorgas wurde die Beobachtung nur so lange fortgesetzt, bis diese sich mit der im Glasrohre befindlichen atmosphärischen Luft mengten und das Quecksilben angriffen.

Vergleicht man die hier gegebenen Resultate unter einander, so ergiebt sich daraus, dafs mit Ausnahme des Wasserstoffgases alle übrige sich in gleichen Zeiten gleichmäfsig ausdehnten, also um gleichviel erwärmt wurden, und demnach eine gleiche specifische Wärmecapacität haben müssen, da ihnen die Wärme aus einer gleich intensiven Quelle zuströmte. Die Abweichungen betragen nicht mehr als 0°,04 und nur in zwei Fällen 0°,08, und da sie bald auf der einen, bald auf der andern Seite liegen, so können sie nur als Beobachtungsfehler gelten. Wären aber wirklich Unterschiede der Wärmecapacitäten vorhanden gewesen, die eine 0°,04 gröfsere oder

geringere Erwärmung veranlafst hätten, so könnten jene der Berechnung nach nicht mehr als 0,1 der Wärmecapacitäten betragen. Ein ungleiches Leitungsvermögen der Gase geht aus diesen Versuchen gleichfalls nicht hervor, mit Ausnahme des Wasserstoffgases, dessen Erwärmung den übrigen stets zuvor war und nur erst nach 6 Minuten ihnen gleich kam. Dieses stärkere Leitungsvermögen geht übrigens auch aus andern Erfahrungen hervor, beweiset aber keineswegs einen Unterschied der specifischen Wärmecapacität, weil es sonst nach 6 und 8 Minuten nicht wieder ins Gleichgewicht gekommen wäre, vielmehr entscheiden die erhaltenen Resultate sehr für die Empfindlichkeit des gebrauchten Apparates, welcher demnach auch selbst geringe Unterschiede der specifischen Wärmecapacitäten angezeigt haben würde, wenn diese wirklich vorhanden wären. Auch diese Versuchsreihe dient daher zur Bestätigung der oben aufgestellten Sätze.

399) Marcet und Delarive[1] haben seit jener Zeit, etwa seit 1830, ihre Untersuchungen fortgesetzt, die sich hauptsächlich und zunächst auf die Bestimmung der specifischen Wärme starrer Körper beziehn, wovon demnächst die Rede seyn wird. Nur von zwei Gasen bestimmten sie die specifischen Wärmecapacitäten, allein dennoch verdient ihre Arbeit eine ausführlichere Erörterung, weil sie sich dabei der Methode der Abkühlung mit einer eigenthümlichen Modification bedienten, und dieses ihr Verfahren nicht blofs genau beschreiben, sondern auch die Art der Berechnung vollständig mittheilen. Sie gebrauchten ein kleines, cylindrisches Gefäfs von Kupfer, 37 Millim. hoch und 33 Millim. weit, in welchem sich ein kleines kupfernes Schlangenrohr befand, dessen Enden einige Millimeter über den Deckel des Gefäfses hervorragten. Das leere Gefäfs wog 28,637 Gramm und fafste 27,093 Gramm oder nahe 27 Kubikcentimeter Wasser. Dasselbe wurde in die inwendig geschwärzte, 22 Centimeter im Durchmesser haltende kupferne Kugel gebracht und letztere gut exantlirt. Im Gefäfse befand sich ein sehr empfindliches Thermometer, welches die Temperatur der darin enthaltenen Flüssigkeit angab, indem das Rohr desselben aus der kupfernen Kugelher vorragte, ebenso wie

1 L'Institut. 1840. VIIme Ann. N. 335. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 119. Bibliothèque univers. 1840. Août.

zwei Glasröhren, welche mit den beiden Mündungen des Schlangenrohrs verbunden waren. Bei den Versuchen füllten sie das Gefäfs mit Terpentinspiritus, wegen seiner geringeren Wärmecapacität, erwärmten dasselbe, brachten es dann in die Mitte der kupfernen Kugel vermittelst des Deckels der letzteren, woran es durch die Thermometerröhre festsafs, exantlirten die Kugel, senkten sie dann ins Wasser, welches genau die Temperatur des Zimmers hatte, und beobachteten die Zeit der Abkühlung um eine bestimmte Zahl von Thermometergraden. Alsdann wiederholten sie diesen Versuch, liefsen aber während des Erkaltens um eine gleiche Anzahl Grade ausgetrocknete atmosphärische Luft von der Temperatur der Umgebung durch das Schlangenrohr strömen, wodurch die vorher blofs von der Strahlung herrührende Abkühlung beschleunigt wurde. Auf gleiche Weise liefsen sie auch diejenigen Gase durch das Schlangenrohr strömen, deren specifische Wärme sie mit der der Luft vergleichen wollten, und dabei wurde jederzeit die Quantität des angewandten Gases genau gemessen und zugleich durch angemessenes Oeffnen des Hahn dafür gesorgt, dafs in gleichen Zeiten gleiche Quantitäten des Gases durchströmten.

Die Art der Berechnung der auf diese Weise erhaltenen Resultate entnahmen sie aus einem Briefe von Dulong, worin dieser zugleich rieth, hauptsächlich dafür zu sorgen, dafs das Vacuum jederzeit gleich sey. Vor allen Dingen sollen aber die Unterschiede der Temperaturen 10° C. nicht übersteigen, weil nach seiner Ansicht nur unter dieser Bedingung das Newton'sche Gesetz als gültig zu betrachten ist. Heifst dann T der veränderliche Ueberschufs der Temperatur des Calorimeters über die der Hülle, welcher der Zeit t entspricht, die vom Anfange des Erkaltens an verstrichen ist; a der Ueberschufs dieser Temperatur für $t=0$ und T' für eine Zeit $= \Theta'$, so kann der Fortgang des Erkaltens durch: $T = a m^t$ ausgedrückt werden, wobei m durch die Beobachtung bestimmt werden mufs. Der allgemeine Ausdruck für die Geschwindigkeit des Erkaltens wird dann seyn:

$$v' = \frac{dT}{dt} = - TL.m.$$

Will man dieselbe für die Temperatur a erhalten, so darf man

diese Gröſse nur statt T in die Formel setzen, und erhält dann die Constante L.m, indem man setzt

$$T' = a\,m^{\Theta};\ L.T' = L.a + \Theta L.m,$$

woraus folgt

$$L.m = \frac{L.a - L.T'}{\Theta} = \frac{L.\frac{a}{T'}}{\Theta'},$$

und durch Substitution

$$v' = \frac{a L.\frac{a}{T'}}{\Theta}$$

die Geschwindigkeit der gesammten Abkühlung, und wenn ein Gas durch den Apparat strömt, so ist

$$v'' = \frac{a L.\frac{a}{T''}}{\Theta''}.$$

Hierin bezeichnet T'' die nach der Zeit Θ'' beobachtete Temperatur, L aber den hyperbolischen Logarithmus. Die Geschwindigkeit des Erkaltens, die vom Gas allein herrührt, ist $= v = v'' - v'$.

Man findet auf diese Weise leicht das Verhältniſs der specifischen Wärme zweier Gase bei gleichem Volumen. Ist nämlich die Geschwindigkeit für atmosphärische Luft $= v$; für das verglichene Gas $= V$; die specifische Wärme der Luft $= c$; des Gases $= C$; das Volumen der durchströmenden Luft $= w$; des durchströmenden Gases $= W$, so hat man

$$\frac{C}{c} = \frac{w\,V}{v\,W}.$$

Will man die Capacitäten auf Wasser zurückführen, so ist v'm die Wärmemenge, welche durch das Instrument von der Wassermasse = m abgegeben wird (dessen Wärmecapacität = 1 gesetzt), um das Gas zu erwärmen, eine gleichmäſsige Abkühlung vorausgesetzt. T m'c' ist die Wärmemenge, welche von dem in der Zeiteinheit durchströmenden Gase aufgenommen wird, dessen Masse = m' und die Wärmecapacität auf die des Wassers als Einheit bezogen = c' ist, T aber die Temperaturzunahme des Gases, welches durch das Instrument strömt,

n dem Augenblicke, für welchen es die Geschwindigkeit = v'' angenommen hat. Hiernach ist also

$$v'' m = T m' c',$$

woraus c' gefunden wird.

Um von diesen Formeln Gebrauch zu machen, wählten Marcet und Delarive folgende Bezeichnungen. Es hieſs Θ' die Zeit des Erkaltens ohne durchströmendes Gas; Θ'' diese Zeit beim Durchströmen von atmosphärischer Luft; Θ''' beim Durchströmen einer andern Gasart. Ferner hieſs w das Volumen Luft, welches während der Zeit Θ'' durchströmte; W' das Volumen des in der Zeit Θ''' durchströmenden Gases und W das Volumen dieses Gases, welches in der Zeit Θ'' durchgeströmt seyn würde. Man erhält dann für eine gleichmäſsige Durchströmung

$$W = W' \frac{\Theta''}{\Theta'''}.$$

Auſserdem hat man, wenn v' die Geschwindigkeit des Erkaltens ohne durchströmendes Gas; v'' bei durchströmender atmosphärischer Luft; v''' bei durchströmender sonstiger Gasart heiſst, folgende Relationen

$$v' = \frac{aL \cdot \frac{a}{T'}}{\Theta'},$$

$$v'' = \frac{aL \cdot \frac{a}{T'}}{\Theta''},$$

$$v''' = \frac{aL \cdot \frac{a}{T'}}{\Theta'''},$$

worin T' die stets gleiche Anzahl von Graden bezeichnet, um welche die Abkühlung in den Zeiten Θ'; Θ''; Θ''' statt findet, wenn kein Durchströmen statt findet, oder ein Volumen Luft = w, oder ein Volumen Gas = W' durchströmt. Es ist aber die Geschwindigkeit des Erkaltens, die durch die Luft oder das Gas allein bewirkt wird, dem Unterschiede gleich, welcher beobachtet wird, wenn Luft oder Gas durchströmt, und wenn die Strahlung allein wirkt. Heiſst daher v die Geschwindigkeit des Erkaltens, die der atmosphärischen Luft allein zukommt, wenn ein Volumen derselben = w während der

Zeit Θ'' durchströmt und V diejenige, die dem Gas allein zukommt, wenn ein Volumen W′ desselben während der Zeit Θ''' durchströmt, so hat man

$$v = v'' - v' = \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta''} - \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'};$$

$$V = v''' - v' = \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'''} - \frac{aL.\frac{a}{T'}}{\Theta'}.$$

Setzt man also in Dulong's Formel, wonach

$$\frac{C}{c} = \frac{wV}{vW}$$

für v und V die gefundenen Werthe, und berücksichtigt man, dafs $W = W'\frac{\Theta''}{\Theta'''}$ ist, so erhält man nach gehöriger Reduction

$$\frac{C}{c} = \frac{(\Theta' - \Theta''')w}{(\Theta' - \Theta'')W'},$$

und demnach unmittelbar die specifische Wärme des Gases, verglichen mit der der atmosphärischen Luft, letztere als Einheit genommen.

Um die Genauigkeit zu zeigen, welche auf diesem Wege erhalten wird, theilen Delarive und Marcet aus ihren zahlreichen Versuchen eine genaue Beschreibung derjenigen Resultate mit, die sie für ölerzeugendes und für kohlensaures Gas gefunden haben. Die Temperatur der Umgebung war 11° C. oder 11°,5; die Abkühlung betrug 6° oder 7°,5 in beiden Versuchsreihen. Bei der ersten Versuchsreihe geschah die Abkühlung von 25° bis 19°, also war T = 6°; die Zeit der Abkühlung ohne durchströmendes Gas, also Θ', betrug 1240 Secunden; die Zeit der Abkühlung bei durchströmender Luft, also Θ'', betrug 860 Sec.; das Volumen der durchströmenden Luft, also w, = 13675,879 Kubikcentimeter. Es waren dann für die Zeit Θ''' des durchströmenden Gases und das Volumen W′ desselben

Θ'''		W′		$\frac{C}{c}$
624″	....	11487,307	....	1,4958
594	....	11603,240	....	1,5576
632	....	11038,318	....	1,5376;

im Mittel also 1,5303. Drei andere Versuche gaben im Mittel 1,5315 und aus beiden also das Mittel 1,5309; Dulong fand für dieses Gas 1,531; Delaroche und Bérard 1,553. Für Kohlensäure fanden sie 1,222, statt dafs Dulong 1,175, Delaroche und Bérard aber 1,258 gefunden hatten; sie halten aber ihre Bestimmung leicht für etwas zu grofs, weil das Wasser des Gasometers eine Kleinigkeit des Gases verschluckt haben konnte, wodurch W' zu klein, also C : c zu grofs werden mufste.

Die schwierigsten Versuche sind die mit Wasserstoffgas, weil man kaum verhüten kann, dafs dasselbe nicht entweder zu schnell oder zu langsam durchströmt. Die Temperatur des Zimmers war 11°,25, das Thermometer ging von 49°,5 auf 45° herab, also um 4°,5 binnen 5 Minuten, während welcher Zeit 7373,7 Kubikcentim. Gas durchströmten. Eine ganz gleiche Quantität atmosphärischer Luft machte in der nämlichen Zeit das Thermometer um gleichviele Grade sinken; es waren aber 10 Minuten erforderlich, damit die Temperatur ohne durchströmendes Gas oder Luft um gleich viele Grade herabging. Strömte das Wasserstoffgas langsamer hindurch, so ergab sich eine bedeutend geringere Wärmecapacität desselben. Delarive und Marcet sind daher nach ihren Versuchen, die sie auch mit Sauerstoffgas und Stickgas anstellten, überzeugt, dafs gleiche Volumina der einfachen Gase unter constantem Drucke die nämliche Wärmecapacität haben; sie beabsichtigen ihre Versuche noch weiter fortzusetzen, als Flüssigkeit im Calorimeter aber Quecksilber anzuwenden, wegen seiner weit geringeren Wärmecapacität. Die sehr schätzbaren Versuche zeigen evident, dafs durch das beschriebene Verfahren sehr genaue Resultate erhalten werden, hauptsächlich wenn man die Apparate nicht zu klein ausführt und eine hinlänglich grofse Menge Gas hindurchströmen läfst. Immerhin bleibt aber fraglich, ob durch die von Delaroche und Bérard gewählte Methode, der die angegebene übrigens sehr nahe kommt, nicht auf leichtere Weise und mit einer engeren Fehlergrenze gleich genaue oder selbst noch genauere Resultate zu erhalten wären. Die gefundenen Werthe sind nicht auf Wasser als Einheit reducirt; ich habe hierfür aber diejenige Gröfse angenommen, welche Delarive und Marcet schon bei ihren früheren Versuchen als die

richtige anerkannten, und hieraus sind die in der Tabelle aufgeführten Bestimmungen entstanden.

Es kann hier noch beiläufig erwähnt werden, dafs H. Davy[1] ein bis 160° F. erhitztes Thermometer in verschiedenen Gasarten von 52° F. Temperatur erkalten liefs und die ungleichen Zeiten mafs, die zu einer Abkühlung bis 106° F. erfordert wurden. Das Volumen der Gase war 21 Kubikzoll, die Zeiten aber giebt folgende Tabelle.

In atmosphärischer Luft	120 Sec.	Sauerstoffgas	107 Sec.
Wasserstoffgas	45 —	Salpetergas	162 —
ölerzeugendes Gas	75 —	Kohlensäure	165 —
Kohlenoxydgas	55 —	Chlor	186 —
Stickgas	90 —		

Es verlohnt sich aber nicht der Mühe, diese ohnehin nicht hinlänglich genauen Resultate einer Berechnung zu unterwerfen.

400) Eine ebenso ausführliche als gehaltreiche Arbeit über die specifische Wärme der Gase hat Dulong[2] geliefert, und er befolgte dabei eine bis dahin noch nicht angewandte Methode. Gegen die Versuche von Haycraft, welcher ohnehin seine Apparate und Verfahrungsarten nicht mit hinlänglicher Genauigkeit beschrieben hat, findet er zu erinnern, dafs er nur eine einzige zusammengesetzte Gasart, nämlich die Kohlensäure, untersuchte und daher nicht berechtigt war, das aufgefundene Gesetz auf alle solche Gase anzuwenden; im Allgemeinen bemerkt er aber, dafs die Beweglichkeit der Gase und die aus dieser und andern Ursachen folgende ungleich schnelle Aufnahme der Wärme leicht unrichtige Folgerungen herbeiführen könne. Derselbe Einwurf trifft auch die eben erwähnten Versuche von Marcet und Delarive, obgleich Dulong zugesteht, dafs sie alle von ihm selbst und Petit für diese Verfahrungsart aufgefundene Vorsichtsregeln in Anwendung gebracht hätten. Die erste Bedingung, meint er, welche erfüllt werden müsse, bestehe darin, dafs die Wärmemenge, welche

1 Philos. Trans. 1817. p. 60.

2 Mém. de l'Acad. Roy. des Sc. T. X. Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 113. Poggendorff's Ann. XVI. 438. Wiener Zeitschr. Th. VI. St. 4. S. 474. Vergl. Art. *Schall*. Bd. VIII. S. 421.

von dem den zu erwärmenden Körper einschliefsenden Gefäfse verschluckt oder abgegeben wird, kein zu grofser Theil der gesammten, beim Versuche fortgehenden oder hinzutretenden, Wärme sey, und diese Bedingung lasse sich bei expansibelen Flüssigkeiten kaum überall erreichen. Nach den Dimensionen der von MARCET und DELARIVE gebrauchten Apparate betrug das Gewicht des Glases 7,017 und der darin enthaltenen Luft 0,036 Gramm bei 0,65 Meter Barometerhöhe und 20° C. Temperatur, mithin standen die Wärmemengen, welche beide zu gleicher Erhöhung der Temperatur bedurften, im Verhältnifs[1] von 126 zu 1, für ein anderes Gas aber von einer nur $\frac{1}{4}$ so grofsen Wärmecapacität würde die Gröfse dieses Unterschiedes nur $\frac{1}{500}$ der gesammten Wärmemenge betragen. So kleine Gröfsen zu messen ist nicht wohl möglich, denn bei einer gegebenen Zeit von 5 Minuten entspricht das Intervall der Erwärmung oder Erkältung um eine gleiche Zahl von Graden nur einem Unterschiede von 36 Tertien. Hiernach leitet DULONG die Zeiten, welche die verschiedenen Gase erforderten, damit sie um eine gleiche Anzahl von Graden erwärmt wurden, lediglich von der ungleichen Geschwindigkeit ab, mit der sich die inneren Theile derselben mit den äufseren, die allein Wärme durch unmittelbare Mittheilung von den Wandungen des Gefäfses erhielten, vermischten, und da alle Gase eine gleiche Expansivkraft besafsen[2], so wichen diese Zeiten desto mehr von einander ab, je beträchtlicher der Temperaturüberschufs desselben Gefäfses war, so dafs der Unterschied unmerklich werden konnte, wenn sich dessen Wände sehr langsam erwärmten. Das aufgestellte Argument, der gebrauchte Apparat sey fein genug gewesen, um den Unterschied der specifischen Wärme verdünnter Gasarten gegen die der dichteren kenntlich zu machen, und er müsse daher auch genügen, den Unterschied

---

1 Für den später gebrauchten gröfseren Ballon ist das Verhältnifs 55 zu 1; die neuesten Versuche dieser Gelehrten aber unterliegen diesem Vorwurfe nicht.

2 Streng genommen, kann dieses nicht richtig seyn, denn die specifisch leichteren Gase haben eine weit gröfsere Fluidität, und namentlich ist oben §. 598 nachgewiesen worden, dafs der Unterschied dieser Beweglichkeit zwischen Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft weit gröfser sey, als zwischen der letzteren unter stärkerem und geringerem Drucke.

der specifischen Wärme verschiedener Gase merkbar zu machen, stellt Dulong in Zweifel, vielmehr müsse man, um diesen Schluſs zu begründen, zuvörderst beweisen, daſs die Ungleichheit in der Zeit der Erwärmung gleicher Volumina des nämlichen, aber ungleich dichten Gases bloſs vom Unterschiede der specifischen Wärme abhänge. Wenn aber weiter bemerkt wird, daſs in den vergleichbaren Versuchen mit atmosphärischer Luft unter 0,65 und 0,26 Meter Quecksilberdruck statt der Zeiten, welche zur gleichen Erwärmung nöthig waren, die in gleichen Zeiten erlangten ungleichen Wärmen mitgetheilt seyen, hierdurch aber die Vergleichung erschwert werde, so gestehe ich, daſs ich dieses nicht genau zu begreifen vermag; und auſserdem wird zur Begründung dieses Einwurfes gefordert, man solle voraussetzen, daſs die specifische Wärme des Gases vermöge seiner Verdünnung auf 0 reducirt sey, was doch in der That unmöglich ist. Inzwischen folgert Dulong aus allen diesen Gründen, daſs es unzulässig sey, eine Einrichtung dieses Apparates oder eine Verfahrungsweise zu ersinnen, welche erlaube, aus den Zeiten der Erwärmung oder der Erkaltung die specifische Wärme der Gase aufzufinden. Hiernach hält er also die Versuche von Delaroche und Bérard, obgleich sie eine gröſsere Genauigkeit zu wünschen übrig lassen, für diejenigen, welche noch immer das gröſste Vertrauen verdienen, und daher hinreichen, um auſser Zweifel zu setzen, daſs alle einfache und zusammengesetzte Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen nicht gleiche Wärmecapacität besitzen. Inzwischen bezögen sich diese Versuche nur auf Gase, die einem constanten Drucke ausgesetzt sind und die Aufgabe bleibe für die Voraussetzung eines constanten Volumens noch ganz unerledigt, biete aber in dieser Beziehung für die experimentelle Untersuchung weit mehr Schwierigkeiten dar, und man habe noch kein Mittel zu ihrer directen Auflösung.

Ohne hier vorläufig auf die Bedingungen des gleichen Druckes und des gleichen Volumens einzugehn, welche ich später klar zu entwickeln mich bemühn werde, müssen sich nothwendig folgende Betrachtungen aufdrängen. Es ist allerdings nicht in Abrede zu stellen, daſs Marcet und Delarive ihre Versuche mit sehr geringen Mengen der Gase anstellten, deren Masse, mit der der übrigen Theile des Apparates, namentlich des einschlieſsenden Ballons, verglichen, eine kleine

Gröfse ist, und die Versuche von Delaroche und Bérard behalten daher allezeit einen grofsen Vorzug, weil sie mit so beträchtlichen Mengen angestellt wurden; von der andern Seite aber wird dieser Nachtheil durch anderweitige Bedingungen wieder bedeutend aufgewogen. Dem Wesen nach war der gebrauchte Apparat ein Luftthermometer, und es ist noch niemandem eingefallen, diese Werkzeuge, auch wenn das Verhältnifs der Massen der eingeschlossenen Luft gegen die einschliefsende Hülle noch ungleich gröfser ist, für ungenau zu halten, wonach die Resultate aller mit Luftthermometern angestellten Versuche höchst unsicher seyn müfsten, was der bisherigen Annahme ebenso sehr als einer Vergleichung derselben mit andern, so wie auch unter sich, geradezu widerstreitet. Dazu kommt aber der Umstand, dafs im vorliegenden Falle dem Luftthermometer die Wärme jederzeit unter völlig gleichen Bedingungen ganz gleichmäfsig zugeführt wurde, mehr als dieses bei irgend sonstigen Versuchen der Fall seyn kann und die Resultate dürfen daher auf weit mehr Genauigkeit gerechte Ansprüche machen, als bei allen andern Anwendungen des für so höchst empfindlich geltenden Luftthermometers der Fall seyn kann. Der Einflufs der ungleichen Fluidität und der hieraus folgenden gröfseren oder geringeren Beweglichkeit der verschiedenen Gase läfst sich zwar auf keine Weise in Abrede stellen, allein dieser mufste sich in den ersten Minuten am auffallendsten zeigen, in den folgenden aber, wenn die Bewegung einmal begonnen hatte, minder hervortreten; er war auch in dieser Weise bei dem auffallend fluideren Wasserstoffgase wirklich kennbar, allein die Versuche zeigen selbst sehr augenfällig, dafs diese Ursache unmöglich die einzig wirksame seyn konnte, denn sonst hätten sich bei weitem gröfsere Unterschiede zeigen müssen, und eben die völlige Gleichheit der gefundenen Gröfsen ist gerade dasjenige, was unter dieser Voraussetzung nicht erfolgen könnte. Endlich aber zeigen die durch Delaroche und Bérard erhaltenen, in der nachfolgenden Tabelle aufgezeichneten Bestimmungen der specifischen Wärmen mit denen verglichen, die durch Marcet und Delarive gefunden wurden, mit alleiniger Ausnahme des ölerzeugenden Gases, eine so genaue Uebereinstimmung, dafs die geringen Unterschiede leicht für Folgen von Beobachtungsfehlern theils bei der Bestimmung der specifischen Wärmen, theils be-

der Ermittelung ihrer specifischen Gewichte gelten können, da die letzteren ohnehin nach den verschiedenen Autoritäten um Gröfsen von einander abweichen, die allein hinreichen würden, die vorhandenen Unterschiede aus ihnen abzuleiten, was um so leichter statt finden kann, wenn beide Fehler auf eine Seite fallen und sich daher summiren.

401) Es scheint mir am geeignetsten, hier zunächst diejenige Darstellung des ganzen Problems nach ihren wesentlichsten Elementen anzureihen, welche Dulong gewählt hat. Bekanntlich erfand Laplace[1] durch eine der glücklichsten Inspirationen, wie es hier heifst, die Hypothese, dafs man die wirkliche Geschwindigkeit des Schalles in der Luft und überhaupt in den expansibeln Flüssigkeiten erhalten werde, wenn man die nach Newton's Theorie durch Rechnung gefundene Geschwindigkeit mit der Quadratwurzel aus dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter constantem Drucke zur specifischen Wärme derselben bei constantem Volumen multiplicire[2]. Wie man sich bemüht habe, aus den Versuchen von Clément und Désormes[3], häuptsächlich aber von Gay-Lussac und Welter[4] diesen Coefficienten aufzufinden, was Ivory[5] und Avogadro[6] in Beziehung auf das Problem gethan haben, die Wärmemenge aufzufinden, welche durch Vergröfserung des Volumens einer gegebenen Masse atmosphärischer Luft gebunden und durch Verminderung desselben erzeugt wird, davon war bereits oft die Rede[7], und es möge daher hier genügen, die Ansichten Dulong's über die specifische Wärme der Gase zunächst ins Auge zu fassen, welcher alle Apparate und jeden Grad der Genauigkeit bei anzustellenden Versuchen für ungenügend zur Beantwortung dieser Frage hält, und es daher für weit sicherer erachtet, die wirkliche Ge-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. III. p. 238. Mécan. cél. T. V. p. 123.

2 Vergl. Art. *Schall*. Bd. VIII. S. 412.

3 Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 333.

4 Auf diese stützt sich insbesondere Laplace in Méc. cél. T. V. p. 125.

5 Philos. Magaz. New Ser. T. I. p. 449.

6 Memorie della reale Accademia delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237.

7 S. oben: Erzeugung der Wärme durch Compression der Luft. Vergl. Dalton in Manch. Mem. T. V. p. 525.

schwindigkeit des Schalles in jeder elastischen Flüssigkeit zu bestimmen, um diese der Laplace'schen Theorie gemäfs mit der theoretisch gefundenen zu vergleichen. Dabei hält er es für einen erwiesenen Satz, dafs das Quadrat der Schallgeschwindigkeit in einem Gase, dividirt durch die nach NEWTON's Formel berechnete Schallgeschwindigkeit, dem Verhältnifs der beiden specifischen Wärmen gleich sey. Nach LAPLACE's Hypothese ist nämlich[1]

$$V^2 = g\frac{h}{D}(1 + 0{,}00375\,t) \times k,$$

also

$$k = \frac{V^2}{g\frac{h}{D}(1 + 0{,}00375\,t)},$$

worin V die wirkliche Schallgeschwindigkeit, h den Barometerstand, D die Dichtigkeit der Gasart gegen Quecksilber, g die Normalgeschwindigkeit fallender Körper in Folge der Schwere, t die Temperatur in Centesimalgraden bezeichnen und sonach k denjenigen Coefficienten, womit die theoretisch gefundene Geschwindigkeit multiplicirt werden mufs, um die wirkliche zu erhalten, welcher dann nichts anderes ist, als das Verhältnifs der specifischen Wärme dieser Gasart unter constantem Drucke zu der unter constantem Volumen. Für atmosphärische Luft ist die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung durch eine Menge Versuche mit hinlänglicher Genauigkeit aufgefunden, für sonstige Gasarten und für Dämpfe ist dieses aber nur durch indirecte Versuche möglich, und wenn dann auf gleiche Weise die Gröfse V auch für diese ermittelt ist, so läfst sich für sie gleichfalls der Werth von k aus der Formel entnehmen. Ueber die Bemühungen der verschiedenen Gelehrten, dieses Problem zu lösen, ohne dafs der erste unter ihnen, CHLADNI, und seine nächsten Nachfolger die Gröfse k hieraus zu bestimmen die Absicht hatten, ist bereits ausführlich gehandelt worden[2]; nicht minder sind die Versuche von DULONG, wodurch er den Factor k mit gröfster Schärfe zu ermitteln suchte, so wie die kaum überwindlichen Schwierigkeiten angegeben, welche mit dem von ihm gewählten Verfahren verbunden sind, und es bleibt daher nur noch übrig, die

1 Vergl. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 404.

2 Ebend. S. 469.

Resultate mitzutheilen, zu denen er auf diesem Wege gelangte. Wird als richtig angenommen[1], daſs eine an beiden Enden offene Pfeife in der Mitte einen Schwingungsknoten beim Tönen erhält, mithin wegen der Gleichheit der Longitudinalschwingungen des erzeugten und des fortgepflanzten Tones die Zahl der einfachen Vibrationen gefunden wird, wenn man die halbe Länge der Pfeife in die Entfernung dividirt, wohin der Schall gelangt, beides für die Zeiteinheit einer Secunde genommen, und daſs sich daher die Weite der Fortpflanzung des Schalles aus der Menge der Vibrationen einer gegebenen Pfeife finden läſst, welche Menge der einfachen Vibrationen durch die Tonhöhe bestimmt ist, und daſs endlich der genannte Factor k für jede einzelne Gasart erforderlich ist, um die Weite der Fortpflanzung des Schalles in einer Secunde theoretisch zu bestimmen, so muſs sich auch der für jede Gasart erforderliche Werth von k oder das Verhältniſs der specifischen Wärme jeder Gasart unter gleichem Volumen zu der unter gleichem Drucke aus der ungleichen Tonhöhe einer und derselben Pfeife beim Einströmen verschiedener Gase in dieselbe finden lassen, vorausgesetzt, daſs die übrigen die Tonhöhe sowohl, als auch die hiermit verbundene Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles, bedingenden Gröſsen hinlänglich berücksichtigt sind. Da man alles dieses als genügend bewiesen betrachtet, auch keiner dieser Sätze der Theorie und zahlreichen Erfahrungen zu Folge durchaus keinem Zweifel unterliegt, mit alleiniger Ausnahme der auf die Gröſse k sich beziehenden Voraussetzung, die aber von Dulong als ein festbegründetes Axiom betrachtet wird, so folgt, wenn für eine und dieselbe Pfeife bei Anwendung verschiedener Gase die aus den Tonhöhen gefundenen Schwingungsmengen in einer Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit durch n für atmosphärische Luft, durch n′ für irgend ein anderes Gas bezeichnet werden, wenn ferner p die Dichtigkeit der Gasart gegen die der Luft als Einheit genommen, t und t′ die Temperaturen der Luft und der verglichenen Gasart und endlich k und k′ die genannten Coefficienten für die eine und die andere bezeichnen, daſs folgende Proportion als richtig gelten müsse:

1 S. Art. *Schall*. Bd. VIII. S. 272.

$$n:n' = \sqrt{(1+0{,}00375\,t)}\,\sqrt{k} : \frac{\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}\,\sqrt{k'}}{\sqrt{p}}.$$

Hierin sind alle Gröfsen bekannt, aufser k' (denn der Werth von k wird durch DULONG aus den Resultaten der genau ermittelten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in atmosphärischer Luft, nicht aber aus den zahlreichen, unter sich jedoch nicht genau übereinstimmenden Versuchen über die Ausscheidung der Wärme durch Compression der Luft, entnommen, welche insgesammt diese Gröfse zu gering geben), und so läfst sich also der Werth von k' für jede Gasart aus den angestellten Versuchen finden. Ist aber letzterer bekannt, so werden hieraus die in folgender Tabelle enthaltenen Bestimmungen entnommen.

Gase	Werth von k'	Spec. Wärme bei constantem Volumen, die der Luft als Einheit genommen.	Spec. Wärme bei constantem Druck, die der Luft als Einheit genommen.	Spec. Wärme bei constantem Druck nach DELAROCHE und BÉRARD.	Temperaturerhöhung durch Compression von $\frac{1}{267}$ des ursprünglichen Volumens bei 0° C. und unter 0,76 Meter Druck.
Luft	1,421	1,000	1,000	1,000	0°,421
Sauerstoffgas .	1,415 1,417 1,413	1,000	1,000	0,976	0,421
Wasserstoffgas	1,409 1,405	1,000	1,000	0,903	0,421
Kohlensäure .	1,337 1,340	1,249	1,175	1,258	0,337
Kohlenoxydgas	1,423 1,433	1,000	1,000	1,034	0,423
Stickstoffoxydg.	1,343	1,227	1,160	1,350	0,343
ölbildendes Gas	1,240	1,754	1,531	1,553	0,240

DULONG bemerkt, dafs hauptsächlich seine Bestimmung der specifischen Wärme des Wasserstoffgases von denen anderer Experimentatoren abweiche, was sich jedoch nur auf diejenigen Resultate beziehn kann, die durch ähnliche Versuche, als die seinigen, gefunden wurden, denn die durch DELAROCHE und

Bérard erhaltene Gröfse weicht nur um 0,024 ab, und da nach Delarive und Marcet die specifische Wärme aller Gase gleich seyn soll, so ist gar kein Unterschied vorhanden. Dagegen fand Dulong den durch ganz reines Wasserstoffgas erzeugten Ton fast zwei Octaven höher, als den durch atmosphärische Luft, Chladni dagegen erhielt nur eine Octave und die kleine Terze oder gar nur eine Octave, und van Rees zwar mehr, aber immer noch $\frac{1}{9}$ zu wenig, in welchem Falle der Factor k hätte negativ seyn, also durch die Schallwellen keine Wärme hätte ausgeprefst, sondern vielmehr einige hätte verschluckt werden müssen.

402) Dulong erläutert die Sache, die an sich nicht eigentlich dunkel ist, ausführlicher, als wohl nöthig seyn dürfte, gelangt aber dadurch zu Resultaten, die im Grunde mit den durch Delarive und Marcet aufgefundenen übereinstimmen, obgleich er diese anfangs in seiner Abhandlung als unzulässig darzustellen scheint, und doch dürfte die von den letzteren Gelehrten angewandte Methode den Vorzug vor der durch Dulong gewählten verdienen, deren Basis ebenso wenig, als die daraus hervorgehenden Folgerungen mit anderweitigen erwiesenen Thatsachen harmoniren, wie bereits an einem andern Orte[1] bemerkt worden ist. Nimmt man die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um eine Gasmasse, deren Volumen unveränderlich bleibt, um 1° C. ihrer Temperatur zu erwärmen, als Einheit an, so wird die Wärmemenge, welche nöthig ist, um dieselbe Masse, sobald sie sich unter ihrem anfänglichen Drucke verbleibend frei ausdehnen kann, um 1° C. zu erwärmen, 1,421 betragen und die Masse wird, wenn man von ihrem Volumen bei 0° ausgeht, um 0,00375 zunehmen. Wird dann angenommen, dafs dieselbe Masse, nachdem sie diese Veränderung der Temperatur und des Volumens erlitten hat, plötzlich ohne Wärmeverlust auf ihr früheres Volumen zurückgebracht würde, so müfste die sich dann einstellende Temperaturerhöhung blofs von der Wärmeportion herrühren, welche dieselbe Masse bei einer Ausdehnung von 0,00375 ohne anderweitigen Wärmeverlust absorbiren würde, und gilt dann die Wärmecapacität des ursprünglichen Volumens als Einheit, so ist der Ueberschufs von 0,421 das Mafs des thermometrischen Effectes,

1 S. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 424.

welcher in der Masse bei constantem Volumen durch die 0,00375 betragende Verdichtung hervorgebracht wird. Eben dieser Schlufs gilt auch für die übrigen einfachen elastischen Flüssigkeiten, da die geringen Abweichungen sich leicht als Beobachtungsfehler betrachten lassen, und so folgt also, dafs sie bei gleicher Verdichtung gleiche Temperaturerhöhung geben[1]. Da aber erwiesen ist, dafs die einfachen Gase unter constantem Drucke gleiche specifische Wärmen haben, so erklärt sich dieses am einfachsten aus der Annahme, dafs die Gase auch bei constantem Volumen eine gleiche specifische Wärme besitzen, und dafs sie alle bei gleicher *Condensation* eine gleiche absolute Wärmemenge entwickeln. Für die übrigen, nicht einfachen, gasigen Substanzen folgt aus den Versuchen, dafs das Verhältnifs der beiden specifischen Wärmen im Allgemeinen desto kleiner wird, je gröfser die Wärmecapacität des Gases ist, welchem dieser Coefficient angehört, und diesemnach ist die Temperaturerhöhung, welche in verschiedenen Gasen durch eine gleiche Condensation hervorgebracht wird, desto geringer, je gröfser die specifische Wärme ist. Hiernach findet bei den einfachen Gasen sowohl, als auch bei den zusammengesetzten das nämliche Verhalten statt, und wir gelangen sonach zu folgenden, durch ihre Einfachheit merkwürdigen, Gesetzen: 1) alle Gase, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem

---

1 Dieser Satz ist es eben, welcher sich nicht wohl mit der Erfahrung vereinigen läfst, denn es würde folgen, dafs ein Gas, wenn es durch eine Zusammendrückung um 0,00375 seines Volumens 0°,421 Wärme abgäbe, durch eine Zusammendrückung um 2 seines Volumens, also um das Doppelte, nach der Proportion

$$0,00375 : 0,421 = 2 : x$$

nicht weniger als 224°,8 C. Wärme abgeben müfste. Allerdings soll hier nur die Rede seyn von dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Gase unter gleichem Drucke zu der unter gleichem Volumen der Gase, und ein gleiches Volumen ist mit der Compression unverträglich; allein dieses Argument würde nur die Begriffe verdunkeln, wie im folgenden §. gezeigt werden soll, und aufserdem könnte man zu einem gegebenen Volumen Luft ein anderes gleiches Volumen von gleicher Dichtigkeit pressen, Navier gelangt durch einen gelehrten Calcül, wobei er sich auf die Versuche von Clément und Désormes, so wie von Delaroche und Bérard stützt, zu dem Resultate, dafs durch $\frac{1}{116}$ Verminderung des Volumens 1° C. Wärme frei wird. Der grofse Unterschied beider Bestimmungen ist nicht geeignet, Vertrauen zu erwecken.

Drucke ein gleiches Volumen von ihnen nimmt und plötzlich um einen gleichen Bruchwerth dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, entwickeln oder verschlucken eine gleiche absolute Wärmemenge; 2) die Temperaturänderungen, die hieraus hervorgehn, verhalten sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volumen.

403) So schätzbar die hier mitgetheilten Versuche auch sind, und so sinnreich die gewählte Methode zur Bestimmung der specifischen Wärmen verschiedener Gasarten auf den ersten Blick auch scheinen mag, so kann dieselbe doch zu keinen genügenden Resultaten führen, weil von vorn herein zwei Dinge als nothwendig mit einander verbunden betrachtet werden, deren Abhängigkeit von einander erst eines genügenden Beweises aus der Erfahrung bedarf. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur den eigentlichen *Begriff der specifischen Wärme*, wie er nicht bloſs in Beziehung auf gasförmige Flüssigkeiten, sondern auch auf Körper von jedweder Aggregatform sachgemäſs festgesetzt ist, und mit den allgemeinen Principien über das Verhalten des Wärmestoffes an sich und in Beziehung auf die Molecüle der Körper im Einklang steht, genau ins Auge fassen. Nehmen wir irgend einen Körper bei einer willkürlichen Temperatur, so enthält derselbe eine gewisse Menge Wärme; d. h. seine Molecüle, die der bloſsen Attraction folgend zur unmittelbaren Berührung unter sich gelangen würden, werden durch die sie umgebenden Wärmesphären in einem gewissen Abstande von einander gehalten, welcher durch das stabile Gleichgewicht zwischen der Anziehungskraft der Molecüle unter sich und der Repulsion der Wärme bedingt ist. Dieser vorhandene Wärmestoff wirkt auf diese Weise repulsiv nicht bloſs gegen die Molecüle des gegebenen Körpers, sondern auch gegen die eines jeden, in seinen Bereich kommenden, andern Körpers, und er wird daher, um dieses kurz auszudrücken, die Gröſse seiner Spannung auch durch die Grade eines seiner Wirkung ausgesetzten Thermometers kenntlich machen. Wird einem solchen Körper weitere Wärme zugeführt, so muſs die Repulsion wachsen, seine Molecüle werden sich weiter von einander entfernen und sein Volumen muſs sich vergröſsern; eine gleiche Wirkung auf das mit ihm verbundene Thermometer ist hiermit unzertrennlich verbunden, und die Temperatur zeigt sich höher. Hieraus folgt nothwendig, daſs

ein und derselbe Körper, wenn er durch mechanische Gewalt bei der erhaltenen Temperatur genau um soviel zusammengedrückt würde, als er durch die Erhöhung seiner Wärme ausgedehnt ist, und er wieder zur ursprünglichen Temperatur zurückkehrte, genau so viele Wärme abgeben müfste, als er zur Erzeugung der ihm gewordenen Volumensvermehrung aufgenommen hatte; dagegen folgt durchaus nicht, weder aus theoretischen Gründen, noch aus den bisherigen Erfahrungen, dafs zu gleichen Volumensvermehrungen verschiedener Körper, wobei ihre sensibele Wärme zugleich dieselben Grade des Thermometers abgiebt, auch gleiche Quantitäten Wärme erfordert werden. Theoretisch kann dieses nicht wohl statt finden, sofern die hierzu erforderliche Wärmemenge durch die Anziehung der Molecüle der gegebenen Körper unter sich und gegen die Molecüle der Wärme bedingt wird, weswegen auch die Ausdehnungen der verschiedenen Körper so bedeutend ungleich sind. Die für die verschiedenen Körper, unter der Voraussetzung, dafs sie ihren Aggregatzustand nicht ändern, erforderliche Wärmemenge, die sie bedürfen, damit ein ihrem Einflusse ausgesetztes Thermometer von einem gegebenen Stande zu einem höheren Stande übergeht (welche Thermometerstände übrigens bei allen gleich seyn müssen) und welche also erforderlich ist, um einen gleichen Zuwachs der in ihnen wirksamen sensibeln Wärme zu erzeugen, heifst dann ihre *specifische Wärme*, und so fern die Eigenthümlichkeit der Körper, zur Erzeugung dieser Veränderung ihres Zustandes mehr oder weniger Wärme zu bedürfen, in ihnen selbst liegt, legen wir ihnen eine gröfsere oder geringere *Wärmecapacität* bei. Dieser Begriff ist durchaus scharf und bestimmt, und läfst sich auf alle Körper von den verschiedensten Bestandtheilen und bei ungleichem Aggregatzustande anwenden; es folgen aber aus der Natur der Sache einige Bedingungen, welche keineswegs übersehn werden dürfen.

Zuvörderst ist eine Vergröfserung des Volumens unumgänglich nothwendige Bedingung, sobald man die specifische Wärmecapacität zu ermitteln strebt; es kann von dieser nicht die Rede seyn, wenn nicht Wärme hinzukommt und also das bestehende Volumen vermehrt wird, wobei wir das Entgegengesetzte, nämlich Verminderung der Temperatur, ganz unberücksichtigt lassen können, weil die hieraus hervorgehenden

Resultate die nämlichen, wenn auch die umgekehrten sind. Geht man aber von einer gegebenen Temperatur $= t$ aus, und zu einer andern $= t'$ über, wird hierzu eine gewisse Wärmemenge $= (t' - t)\,x$ erfordert, die wir einmal als bekannt und $= a$ annehmen wollen, geht man weiter von der Temperatur $= t'$ zu einer andern $= t''$ über, so dafs $(t' - t) = (t'' - t')$ ist, so mufs nothwendig hierzu eine gewisse Wärmemenge $= (t'' - t')\,x'$ erfordert werden, und dann fragt sich, ob $x' = x$ also $= a$ oder $= a \pm \Delta a$ seyn wird. Nach theoretischen Gründen ist die Gleichheit beider Werthe höchst unwahrscheinlich, so wie nicht minder die Annahme, dafs $x' = a - \Delta a$ seyn sollte; denn wenn durch Vermehrung der Wärme das Volumen eines Körpers wächst, mithin seine Molecüle weiter von einander getrieben werden, und sich die Masse der Wärme zwischen ihnen anhäuft, so wird diese, wenn sie auch einen gleichen sensibeln Effect auf das Thermometer ausübt, nicht in gleicher, sondern in verhältnifsmäfsig vermehrter Masse vorhanden seyn müssen, und hiernach müfste $x' = a + \Delta a$ seyn, was auch mit der Erfahrung übereinstimmt, wie sich später zeigen wird. Wie grofs der absolute Werth dieses Unterschiedes sey, ist schwer zu ermitteln, da es schon eine schwierige Aufgabe ist, aufzufinden, ob überall ein Unterschied statt findet; noch weniger aber darf man hoffen, das Gesetz der Zunahme dieser Vermehrungen mit steigenden Temperaturen genau zu ermitteln. Dieses wäre insofern minder wesentlich, als sich aus den Resultaten der Versuche ergiebt, dafs der absolute Werth dieser Gröfse nur sehr klein ist. Wie dieses aber auch seyn mag, so geht doch hieraus hervor, dafs die für einen gewissen Temperaturunterschied $t' - t$ gefundene specifische Wärmecapacität mit eigentlicher Schärfe weder zu t noch zu t', sondern, und auch dieses nur annähernd, zu $\frac{t' + t}{2}$ gehört. So wie man also das specifische Gewicht eines Körpers auf 0° seiner Temperatur reducirt, müfste auch die specifische Wärme auf eine bestimmte Temperatur reducirt werden, wozu aber bis jetzt noch meistens die genauen Bestimmungen fehlen.

404) Berücksichtigen wir, statt wie bisher alle Körper von willkürlicher Aggregatform, speciell die gasförmigen Substanzen, so mufs auf sie das als allgemein gültig Behauptete gleichfalls Anwendung leiden, allein es kommt dann bei ihnen der

hohe Grad der Ausdehnung in Betrachtung, welchen sie durch die Erhöhung der Temperatur erleiden, da sie sich hierdurch im Mittel etwa 100mal stärker, als die meisten starren Körper und ungefähr 8mal stärker, als Wasser ausdehnen. Wenn aber die Ausdehnung der festen Körper nach theoretischen Ansichten einen Einfluſs auf ihre Wärmecapacität haben muſs, und auch die Erfahrung ergiebt, daſs diese mit zunehmender Temperatur wächst, so muſs dieser Einfluſs bei gasförmigen Körpern noch gröſser seyn, und derselbe verdient daher hierbei vorzugsweise berücksichtigt zu werden; inzwischen sind mir keine Versuche bekannt, welche hierüber genügende Auskunft zu geben vermöchten. Nach der Analogie der festen und tropfbar flüssigen Körper zu schlieſsen, müſste man vermuthen, daſs die specifische Wärme auch bei den Gasen mit der Zunahme der Temperatur wachse; wir werden aber später sehen, daſs dieser Einfluſs beim Wasser ungleich kleiner ist, als bei festen Körpern, und wenn wir annehmen, daſs derselbe der Gröſse der Ausdehnung umgekehrt proportional sey, so könnte er bei den Gasen schon negativ werden, und deren specifische Wärmecapacität bei höherer Wärme sogar geringer seyn, dürften die durch Delaroche und Bérard einerseits, und die durch Delarive und Marcet andererseits erhaltenen Bestimmungen als völlig genau gelten, so könnten sie zum Beweise dieses Satzes dienen, denn die mittlere Temperatur der untersuchten Gase war bei den Ersteren eine beträchtlich höhere, als bei den Letzteren, und dennoch fanden jene im Ganzen die specifischen Wärmen der nämlichen Gase geringer, als diese, deren Messungen bei weit geringeren Temperaturen angestellt wurden. Bei festen Körpern ist übrigens die mit wachsender Temperatur zunehmende Wärmecapacität so bedeutend, wie wir bald sehen werden, daſs der Unterschied allerdings Beachtung verdient, bei den Gasen aber scheint letzterer so gering zu seyn, daſs man ihn vorläufig füglich vernachlässigen darf; auf jeden Fall kann aber dieser Umstand der Bestimmung der specifischen Wärmecapacität der Körper überhaupt nicht im Wege stehn.

405) Eine zweite Eigenthümlichkeit der Gase, die sich bei tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körpern gar nicht findet, auf die Bestimmung der specifischen Wärmen aber nothwendig einen bedeutenden Einfluſs ausüben muſs, ist eben ihre Expansion, wodurch die Gröſse der zu den jedesmaligen Versuchen

verwandten Masse ausnehmend bedingt wird. Inzwischen sind die hierüber bestehenden Gesetze mit so großer Genauigkeit fest begründet, daſs die hieraus entnommenen Correctionen dem Bedürfniſs vollkommen Genüge leisten, und man daher jederzeit mit gröſster Schärfe die zu den Versuchen verwandten Massen zu bestimmen vermag. Handelt es sich daher um die Aufgabe, die specifische Wärme der Gase aufzufinden, so kann die Bestimmung der zu den Versuchen verwandten Massen durchaus keine Schwierigkeiten machen, von der andern Seite betrachtet gestaltet sich aber die Aufgabe ganz anders, und wird ungleich verwickelter.

Nach dem so eben aufgestellten Satze wird jede Gasart, wenn man sie um einen aliquoten Theil ihres Volumens zusammendrückt, gerade so viel Wärme hergeben, als sie aufnehmen müſste, um aus dem durch Compression erhaltenen Volumen bei ungeändertem Drucke und gleichbleibender Temperatur wieder zum ursprünglichen Volumen zurückzukehren. Die hierdurch erzeugte oder absorbirte Wärme hat aber, genau genommen, mit ihrer specifischen Wärmecapacität nichts gemein, mindestens darf sie mit dieser nicht als identisch betrachtet werden, vielmehr gehört sie zur Classe der durch Compression frei gewordenen Wärme. Allerdings ist, wie so eben gleichfalls gezeigt wurde, bei der Untersuchung der specifischen Wärme unter constantem Drucke eine Vergröſserung des Volumens unvermeidlich, weil keine Versuche ohne den Uebergang der Gase von einer Temperatur zu einer andern denkbar sind, und hiermit eine Veränderung des Volumens nothwendig verbunden ist, wenn die Bedingung des gleichbleibenden Druckes verlangt wird; allein eben diese Veränderung des Volumens findet auch bei tropfbar flüssigen und starren Körpern, wenn gleich in einem weit geringeren Grade statt. So wenig es aber geeignet seyn würde, die specifische Wärme eines festen Körpers, z. B. des Kupfers, aus der Quantität Wärme zu bestimmen, welche durch Compression desselben um einen aliquoten Theil seines Volumens frei wird, ebenso wenig kann dieses auch bei den Gasen geschehn[1]. Wird

1 Auf ein hiermit allerdings zusammenhängendes Verhalten der Gase lege ich gar kein Gewicht, und ziehe dasselbe daher nicht in den Bereich der vorliegenden Untersuchung. Bekanntlich werden, wo nicht gewiſs, doch muthmaſslich alle Gase durch Entziehung der

dieses aber zugegeben, so kommt man offenbar in einen Widerspruch mit den so eben aufgestellten Sätzen; denn wenn diejenige Wärme die specifische einer Gasart heifst, welche erforderlich ist, dieselbe von einer gewissen Temperatur = t bis zu einer höheren = t' zu erwärmen, wobei dann zugleich ihr Volumen v in ein anderes = v' übergeht, gleichbleibenden äufseren Druck vorausgesetzt, so scheint es auf den ersten Blick, als sey dieselbe identisch mit derjenigen, welche aus dem Gase ausgeprefst wird, wenn man dasselbe wieder bis zu seinem anfänglichen Volumen V zusammenprefst und zur anfänglichen Temperatur = t zurückbringt. Eine nähere Betrachtung zeigt aber bald den wesentlichen Unterschied zwischen beiden. Ist von *specifischer Wärme* der Gase die Rede, so mufs nach der Analogie mit allen übrigen Körpern diejenige darunter verstanden werden, welche erfordert wird, dasselbe von der Temperatur t auf die Temperatur t' zu bringen, wobei dann die gleichzeitige Ausdehnung des Gases nur etwas Hinzukommendes ist, was bei allen andern Körpern gleichfalls, aber in einem geringeren Grade, statt findet. Wird dagegen ein Gas zusammengedrückt, so geht es von der Temperatur t zur Temperatur t' über, und die hierdurch frei werdende Wärme müfste eigentlich zunächst *Wärme durch Compression* genannt werden, man hat aber beide Arten von Wärme neuerdings *specifische Wärme unter constantem Drucke* und *specifische Wärme unter constantem Volumen* genannt.

Um beide besser mit einander zu vergleichen, wollen wir

Wärme und durch Compression tropfbar flüssig, und ändern daher ihren Aggregatzustand. Ebenso wenig, als dieses, wird aber gleichfalls bestritten, dafs dieselben Körper in ihren verschiedenen Aggregatzuständen auch verschiedene specifische Wärmecapacitäten haben, mindestens ändern sich die letzteren sehr bedeutend beim Uebergange aus dem einen in den andern, und sind auf jeden Fall während dieses Ueberganges nicht mefsbar. Man könnte daher annehmen, dafs die Gase sich in Folge jeder Compression und Wärmeentziehung in diesem Uebergange befänden, mithin keine Untersuchung ihrer specifischen Wärme gestatteten; allein die geringe, bei den Versuchen dieser Art vorkommende Abkühlung oder Compression kann um so weniger in Betrachtung gezogen werden, als die Veränderung der Aggregatform durch starken Druck und sehr intensive Kälte plötzlich erfolgt.

annehmen, es sey $t' = t + \alpha$, wobei t jede willkürliche Temperatur bezeichnen kann. Wird bei gleichbleibendem Drucke die Temperatur des Gases um α erhöhet, so verwandelt sich das Volumen V in V' oder in $V + \omega$, und dem Gase muſs daher α Temperatur zugeführt werden, wenn eine Volumensvermehrung von ω erzeugt werden soll. Nimmt man dagegen ein Volumen Gas $= V$ bei der Temperatur t, und bringt man es durch Compression auf ein Volumen $V'' = V - \omega'$, so wird seine Temperatur von t zu $t + \alpha'$ übergehn. Berücksichtigen wir hierbei bloſs die Unterschiede der Temperaturen, sofern im ersten Falle α zugeführt, im zweiten α' frei wird, in beiden Fällen aber diese Ueberschüsse in der als gleich angenommenen und unveränderten Masse des Gases vorhanden sind, so fragt sich, wie beide sich zu einander verhalten, und dieses Verhältniſs wäre dann das, was man durch specifische Wärme unter constantem Drucke und unter constantem Volumen versteht. Als genügend erwiesen darf gelten, daſs für $\alpha = 1$ die Gröſse $\omega = 0{,}00375$ wird, oder daſs jede Gasart sich durch Erhöhung ihrer Temperatur um $\frac{1}{267}$ seines Volumens ausdehnt, zugleich aber sagt Dulong ausdrücklich, daſs durch die Compression jeder Gasart um $\frac{1}{267}$ ihres Volumens 1° C. frei werde, und hiernach müſsten bei gleich seyn, es könnte also kein anderes Verhältniſs zwischen der specifischen Wärme unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen, als das der Gleichheit statt finden; allein so gewiſs der erste Satz durch Erfahrung begründet ist[1], ebenso wenig stimmt der letzte mit den darüber angestellten Versuchen überein[2], theoretisch betrachtet würde derselbe aber zu Folgerungen führen, die sich nicht wohl mit unbestreitbaren Thatsachen vereinigen lassen. Denken wir uns ein gewisses Volumen Gas $= V$ von gegebener Masse, welchem zu seiner Temperatur $= t$ noch Wärme $= \alpha$ zugeführt wird, so daſs hiernach sein Volumen um die Gröſse ω wächst, so muſs die Temperatur desselben $= t + \alpha$ bleiben, wenn bei fortdauernd gleichem Drucke das Volumen $= V + \omega$ bleiben soll. Wird dann dieses Volumen $= V + \omega$ so weit

1 Es ist auſserwesentlich, die ältere Bestimmung von 0,00375 für die Ausdehnung der Gase durch 1° C. statt der neuesten richtigern beizubehalten.

2 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1008.

zusammengedrückt, daſs es wieder zum früheren V übergeht, so steigt die Temperatur von $t + \alpha$ zu der höheren $t + \alpha + \alpha'$, und α' wird frei, die Elasticität des Gases (oder der Druck desselben) geht aber nicht zu derjenigen zurück, welche es vor seiner Ausdehnung durch Wärme besaſs und welche der Temperatur t zugehörte, sondern zu derjenigen, welche zur Temperatur $t + \alpha$ gehört, als welche ihm auch nach der Zusammendrückung und nach dem Abgeben von α' bleibt; erst nachdem es dann noch α abgegeben hat, wird es unter unverändertem Volumen seine ursprüngliche Elasticität wieder erhalten. Hieraus folgt aber keineswegs, daſs $\alpha = \alpha'$ seyn sollte, und ebenso wenig ist die Folgerung begründet, daſs durch Zusammendrückung eines Gases um einen aliquoten Theil seines Volumens gerade so viel Wärme frei werden sollte, als erforderlich ist, dasselbe bei unverändertem Drucke um einen gleichen aliquoten Theil auszudehnen; denn der physische Zustand desselben ist in beiden Fällen verschieden, sofern es im ersteren eine gröſsere Dichtigkeit hat als im letzteren, und in jenem seine Molecüle einander näher gebracht sind als in diesem. Es könnte dieses nur dann statt finden, wenn die einer gegebenen Masse eines Gases zugehörige Wärmemenge von der Zahl seiner Molecüle unabhängig wäre, und bloſs dem eingenommenen Raume zugehörte, in welchem Falle die durch Verminderung dieses Raumes frei gewordene Wärme genau so viel betragen müſste, als die zum Erfüllen eines vergröſserten Raumes erforderliche. Läſst sich gleich nicht beweisen, daſs ein solches Verhalten unstatthaft sey, so folgt seine Wirklichkeit doch keineswegs von selbst, und es muſs daher die specifische Wärme der Gase, d. h. diejenige Menge, welche erforderlich ist, um eine gegebene Masse von einer Temperatur t auf eine andere $t + \alpha$ zu bringen, ebenso wohl als diejenige, welche dadurch frei wird, daſs man dieselbe Masse von dem Volumen V auf das kleinere $v - \omega$ zurückbringt, durch Versuche ausgemittelt werden, wozu sich jedoch die durch Dulong angestellten nicht eignen, weil sie auf noch unerwiesenen Sätzen beruhn. Mit Recht wendet auſserdem Suermann[1] gegen dieselben ein, daſs die Gleichheit der specifischen Wärme bei den verschiedenen elastischen Flüssigkeiten aus ihnen nicht folge,

---

1 Dissert. de calore fluidorum elast. specifico. p. 63.

weil die drei Versuche mit Sauerstoffgas und die zwei mit Wasserstoffgas angestellten nach derselben Seite hin abweichen; aufserdem aber sey die Aehnlichkeit der specifischen Wärmen, wie sie DULONG aus seinen Versuchen berechne und aus denen von DELAROCHE und BÉRARD ableite, keineswegs so grofs, dafs die von jenem daraus entnommenen Folgerungen als genügend begründet erscheinen könnten.

406) Uebergehn wir demnach die Bemühungen der Gelehrten, welche darauf gerichtet sind, die durch Compression der Gase frei werdende Wärme aufzufinden[1], und betrachten wir nur diejenigen, welche geeignet sind, die specifische Wärme derselben der Feststellung dieses Begriffes gemäfs anzugeben, so verdienen zunächst die von JAMES APJOHN erwähnt zu werden. Die Resultate seiner ersten Versuche machte er in der Versammlung der brittischen Naturforscher im Jahre 1835 bekannt[2], und äufserte dabei, dafs die von ihm angewandte Methode eine neue, von ihm erfundene sey, gegründet auf die durch Verdunstung entstandene Kälte. Die Formel, deren er sich bediente, um aus den durch Versuche gefundenen Gröfsen die specifische Wärme der Gase zu ermitteln, ist folgende:

$$f'' = f' - \frac{48\,a\,d}{e} \times \frac{p}{30},$$

woraus

$$a = \frac{(f' - f'')\,e}{48\,d} \times \frac{30}{p}$$

gefunden wird, wenn f'' die Elasticität des Wasserdampfes beim Thaupuncte; f' seine Elasticität bei der Temperatur t', welche das benetzte Thermometer angiebt; d den Unterschied dieser Temperatur und der Temperatur der Luft $= t$; e die Elasticitätswärme des Wasserdampfes bei seiner durch f' ausgedrückten Spannung; a endlich die specifische Wärme der zu den Versuchen genommenen Gasart bezeichnet. Diese Formel,

---

1 Der Vollständigkeit wegen erwähne ich H. MEIKLE in Edinburgh New Phil. Journ. N. IV. p. 328. Vergl. N. II. p. 332. Uebrigens vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1008.

2 Official report of the Proceedings ect. at the Dublin Meeting. Aug. 1835, daraus in Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 385. l'Institut 1835. p. 418. Ann. des Mines T. IX. Liv. II. p. 275.

welche nach SUERMAN[1] mit der von GAY-LUSSAC[2] gewählten nahe übereinstimmt, wird durch POGGENDORFF[3] für unrichtig erklärt, indem vielmehr die von GAY-LUSSAC aufgestellte die richtige sey, wonach

$$\varphi(t').\delta\lambda = \Delta x[p - \varphi(t')](t - t')$$

ist, worin p den Barometerstand; t die Temperatur des trocknen Gases; t' die Temperatur des mit Wasserdampf gesättigten; $\varphi(t')$ die Spannkraft des Wasserdampfes bei der Temperatur t'; δ dessen specifisches Gewicht gegen das der Luft = 1; λ die latente Wärme desselben; x die gesuchte specifische Wärme des Gases unter constantem Druck gegen die eines gleich grofsen Gewichts Wasser als Einheit angenommen bezeichnen. Hierzu kommt aber noch, dafs Δ, d. h. das specifische Gewicht des Gases, ebenso wie das der atmosphärischen Luft, in jener oberen Formel gleich Eins gesetzt ist. Auch HUDSON[4] hat sich gegen die von APJOHN angewandte Formel, hauptsächlich aber in Hinsicht der gewählten numerischen Gröfsenbestimmungen erklärt, inzwischen scheint es uns geeignet, sowohl diese Discussion, als auch die Beschreibung seines zuerst angewandten Apparates und der damit erhaltenen Resultate zu übergehn, um so mehr, als er selbst beide für unvollkommen erklärt. APJOHN[5] wurde aber später mit den Leistungen anderer Gelehrten, namentlich den gleich zu erwähnenden von SUERMAN bekannt, prüfte seine Formel abermals, und stellte eine neue Reihe von Versuchen an, hauptsächlich deswegen, weil er die von ihm für Wasserstoffgas gefundene Bestimmung nicht wohl mit der durch DELAROCHE und BÉRARD erhaltenen vereinigen konnte und die Abweichung gröfser fand, als dafs sie eine Folge der begangenen Fehler seyn konnte.

Der erste Apparat, dessen sich APJOHN bediente, bestand blofs aus einer in Form eines U gekrümmten, etwas weiten Glasröhre, welche unten mit Schwefelsäure gefüllt war, damit

---

1 Poggendorff's Ann. XXXI. 476.
2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 82.
3 Dessen Ann. T. XXXIX. p. 521. Vergl. §. 465. Anm.
4 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLIV. p. 21.
5 Report of the Sixth meeting of the Brit. As. Lond. 1837. p. 33. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXXII. p. 261. LXXXIII. p. 339.

das durch diese getriebene Gas völlig trocken würde. An dem entgegengesetzten Schenkel von dem, in welchen das Gas eintrat, war eine horizontale Glasröhre befestigt, durch welche das austretende Gas strömte. In diesem befand sich ein Thermometer, um die Temperatur des ausgetrockneten Gases zu messen, ehe es mit einem zweiten, gleichfalls in dieser Röhre befindlichen, mit benetztem Musseline überzogenen Thermometer in Berührung kam, und die Wärme, welche beide zeigten, gaben dann die Elemente zur Berechnung. Sein später gebrauchter Apparat dagegen bestand aus zwei kupfernen Gasometern A und B, mit Vitriolöl statt Wasser gefüllt, worein zwei Glasglocken C und D gesenkt wurden. Sie standen auf einem Tische etwa 3 Fufs von einander, und hatten jedes einen Hahn m und n, an welchen an dem einen eine weitere, an dem andern eine engere Glasröhre mittelst Federharz festsafsen, deren andere Enden luftdicht eingeschmirgelt waren, so dafs sie schliefsend in einander gesteckt wurden. In der weiteren Glasröhre befand sich das trockene Thermometer t, in der engeren das benetzte t'; ein Gehülfe drückte die durch Vitriolöl gesperrte und die über der Säure ausgetrocknete Luft enthaltende Glocke nieder, so dafs die Luft durch die Röhren strömte, während der Beobachter mittelst einer Linse den Stand der Thermometer ablas und aufzeichnete, sobald das benetzte einige Secunden stationär geworden war. Zur Erleichterung dieser Operation war an die messingnen Fassungen E und F der Glocken ein Seil geknüpft, welches über die Rollen G und H lief, und so gespannt war, dafs die eine Glocke den Boden des Gasometers erreichte, wenn die andere mit ihrem unteren Rande die obere Fläche der Schwefelsäure berührte. Es bedurfte dann nur noch, dafs der Stand des Barometers abgelesen wurde, um die erforderlichen Gröfsen für die angegebene Formel

Fig. 64.

$$a = (f' - f'')\frac{e}{48\,d} \times \frac{p}{30}$$

zu erhalten. Waren die Versuche mit andern Gasen angestellt, so wurden diese genau analysirt, und fanden sich in denselben n Procente atmosphärische Luft, so wurde eine Correction angebracht nach der Formel

$$a' = a + \frac{(a - e)\,n}{100 - n},$$

worin e = 0,267 die specifische Wärme der atmosphärischen Luft und a′ die corrigirte specifische Wärme des untersuchten Gase sbezeichnet. Apjohn hat die von ihm gefundenen specifischen Wärmen mit den durch Delaroche und Bérard, desgleichen durch Dulong erhaltenen zur besseren Vergleichung in folgender Tabelle neben einander gestellt.

Gase	Apjohn	Delaroche u. Bérard	Dulong
atmosphärische Luft	1,000	1,000	1,000
Stickstoffgas . . .	1,048	1,006	1,000
Sauerstoffgas . . .	0,808	0,976	1,000
Wasserstoffgas . .	1,459	0,900	1,300
Kohlensäure . . .	1,195	1,258	1,172
Kohlenoxydgas . .	0,996	1,034	1,000
Stickstoffoxydul .	1,193	1,350	1,159

Aus diesen Resultaten folgert er erstlich dafs das von Haycraft, Marcet und Delarive und andern gefundene Gesetz, wonach die einfachen Gase unter gleichem Drucke gleiche specifische Wärme haben sollen, falsch sey; zweitens dafs Dulong's Gesetz, wonach die einfachen Gase bei constantem Volumen dieselbe specifische Wärme haben sollen, für Wasserstoffgas nicht gelten könne, und drittens dafs das einfache Verhältnifs zwischen den specifischen Wärmen und den Atomgewichten (§. 426 ff.) nicht statt finden könne. Prüft man aber diese Versuche genauer, namentlich in Beziehung auf den Einflufs der Gefäfse, die unvermeidlich ungleiche Zusammendrückung der Gase u. s. w., und berücksichtigt man ferner die geringe, zu den Versuchen jederzeit genommene Quantität und die gesammte Einrichtung der Versuche, so kann man nicht umhin zu gestehen, dafs dieselben den bereits beschriebenen nicht gleich kommen, und die erhaltenen Resultate deswegen kein unbedingtes Vertrauen erwecken können.

407) Gleichzeitig mit Apjohn und auch später, nachdem ihm die Versuche des Letzteren schon bekannt geworden waren, stellte auch Suermann[1] wiederholte schätzbare Versuche

1 Dissertatio physica inauguralis de calore fluidorum elasticorum

nach der nämlichen Methode an. Der Apparat, dessen er sich dazu bediente[1], bestand aus zwei Gasometern, deren jeder 38 Liter fafste. Um das Gas aus diesen gleichmäfsig ausströmen zu machen, bediente er sich der bekannten Vorrichtung, in gleichen Zeiten eine gleiche Menge Wassers in sie fliefsen zu lassen, wodurch die Luft aus ihnen gleichfalls in einem stets gleichmäfsigen Strome ausgetrieben wurde[2]. Beide Gasometer waren gleich grofs, und diesemnach war die Einrichtung so getroffen, dafs das aus dem einen in das andere übergeführte Gas in den ersten wieder zurücktrat, und auf diese Weise zu mehreren wiederholten Versuchen diente. Um zu verhüten, dafs das Gas vom Sperrwasser absorbirt werde, weswegen Delaroche und Bérard dasselbe in Thierblasen oder Kautschuck-Schläuchen eingeschlossen hatten, enthielten die Reservoire statt gemeinen Wassers eine concentrirte Lösung von Kochsalz, welches das Absorptionsvermögen bedeutend vermindert. So fand sich dann auch, dafs Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Kohlenoxydgas und selbst Stickstoffoxydulgas nach mehrmaligem Durchleiten nur eine geringe Spur von atmosphärischer Luft aufgenommen hatten. Trockenheit der Gase ist bei dieser Art zu experimentiren weit mehr erforderlich als bei allen andern. Um hierüber versichert zu seyn, ging der Gasstrom nach seinem Austritt aus dem Gasometer zuerst auf den Boden einer grofsen Woulff'schen Flasche herab, die mit Schwefelsäure gefüllt war, worin zur Vergröfserung der Oberfläche und um das Gas mehr zu vertheilen, Glasstücke lagen, dann durch einen 90 Decim. langen, 73 Millim. weiten, mit Chlorcalcium gefüllten gläsernen Cylinder. Auf diese Weise vollkommen ausgetrocknet wurde es in eine gekrümmte Weifs-

---

specifico cet. scrips. Alex. Car. Guil. Suermann. Traj. ad Rhen. 1836. gr. 4. Ein gedrängter Auszug in Poggendorff's Ann. XLI. 474. Ann. de Chim. et Phys. T. LXIII. p. 315.

1 Eine ausführliche, durch Figuren erläuterte Beschreibung desselben findet man in der angegebenen Dissertation; sie erfordert aber, um verstanden zu werden, zu viele Zeichnungen und eine zu specielle Angabe aller einzelnen Theile, als dafs ich ihre Aufnahme für angemessen halten könnte.

2 Das Princip dieser Art Vorrichtungen findet sich in Art. *Aerostatik.* Bd. I. S. 259. und Art. *Gasometer.* Bd. IV. S. 1129. Vergl. Pouillet Élémens de Physique 3me éd. T. I. p. 195 ff.

blechröhre geleitet, deren beide aufstehende Schenkel feine Thermometer von Greiner enthielten, die das Ablesen von $\frac{1}{12}$ Cent. Graden gestatteten. Beider Kugeln konnten nach ihrer Stellung nicht auf einander einwirken; das erste Thermometer diente aber dazu, die Temperatur des aus dem Trockenapparate austretenden Gases zu bestimmen; das zweite, welches die durch Verdunstung erzeugte Kälte angab, und dessen Kugel daher mit Battist umhüllt war, konnte mittelst einer Schraube nach Belieben herausgenommen werden, um die Kugel von Zeit zu Zeit zu befeuchten. Während des Oeffnens dieser Schraube ward der Druck etwas verstärkt und dadurch verhütet, daſs keine fremde Luft eindrang, indem vielmehr von dem zum Versuche dienenden Gase eine Kleinigkeit entwich. Zwischen beiden Thermometern befand sich ein Manometer, um den Druck des strömenden Gases zu messen. Hauptsächlich ward erfordert, den Stand des befeuchteten Thermometers, wobei es stationär wurde, genau zu erhalten. Zu diesem Ende diente die bekannte Methode des Schwankens über und unter dem gesuchten Mittel, deren sich auch Delaroche und Bérard bedient hatten. Das befeuchtete Thermometer wurde etwas unter die gesuchte Temperatur erkaltet, und nach dem Einbringen desselben die Zunahme der Temperatur bis nahe zum Puncte seiner stationären Wärme beobachtet, durch momentanes Schlieſsen des Hahns und kurze Unterbrechung des Gasstromes nahm das Thermometer Wärme von auſsen auf, überschritt um eine Kleinigkeit das gesuchte Mittel, und nach dem Wiederöffnen des Hahns gaben die Beobachtungen in gleichen Zeitintervallen als vorher beim Steigen desselben eine absteigende Reihe; der Mittelwerth aus den Endtemperaturen beider Reihen aber gab dann die gesuchte Temperatur genau. Weil aber gewöhnlich eine vollkommene Coincidenz statt fand, so genügten meistens einige Beobachtungen in absteigender und dann einige in aufsteigender Reihe, aus denen das Mittel als die richtige gesuchte Gröſse galt.

Es ergab sich bei den ersten Versuchen ein bedeutender Unterschied zwischen der beobachteten und der nach Gay-Lussac's Theorie berechneten Verdunstungskälte, indem die Erfahrung stets hinter der Theorie zurückblieb. Beide Gröſsen kamen sich indeſs stets um so näher, je rascher die Gasart strömte, und daher argumentirte Suermann mit Recht, daſs die

Menge des gebildeten Dampfes mit der Geschwindigkeit des Gasstromes wächst, und hieraus also keine Einwirkung auf die stationäre Temperatur hervorgehn kann, indem die einerseits absorbirte und andererseits zugeführte Wärme stets das nämliche Verhältniſs beibehalten; der Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung kann also keine andere Ursache haben als die das benetzte Thermometer umgebende Hülle, welche verhältniſsmäſsig so viel mehr Wärme durch Strahlung zusendet, je länger der Proceſs dauert, deren Einfluſs daher, sofern er bloſs von dem Unterschiede der Temperaturen des Thermometers und der Hülle abhängt, um so geringer wird, je schneller das Gas zuströmt und Dampfbildung statt findet. Diesen Einfluſs der Hülle zu bestimmen und zu corrigiren würde bei einem so complicirten Processe vergebens seyn[1], und es blieb daher kein Mittel übrig, ihn unschädlich zu machen, als die Schnelligkeit des Gasstromes zu verstärken. Um dieses zu bewerkstelligen, wurde das Reservoir des einflieſsenden Wassers in einen oberen Stock gebracht, um dadurch den Wasserdruck zu verstärken, von der andern Seite aber wurde der Schenkel des Hebers, durch welchen das Wasser aus dem andern Gasometer abfloſs, proportional verlängert, um durch schnelleres Abflieſsen eine Saugkraft zu erzeugen und einen stärkeren Druck des Gases zu vermeiden. Auf diese Weise lieſs sich erreichen, daſs das zwischen beiden Thermometern befindliche Manometer während der Dauer der Beobachtung nicht schwankte, und zwar um so weniger, je vollständiger zufällige Unterschiede des Druckes sich mittelst des zwischen dem Reservoir und dem Gasometer befindlichen Hahns reguliren lieſsen. Beiläufig möge bemerkt werden, daſs die hierdurch erreichte Geschwindigkeit des Strömens 50 Liter Gas binnen 10 Minuten betrug.

Die zu den Versuchen verwandten Gase wurden mit der erforderlichen Sorgfalt durch einen geübten Chemiker van Stetten bereitet; um aber die Röhren und Trockenapparate mit ihnen zu füllen, diente das Hülfsmittel, sie mehrmals mit dem erforderlichen Gase gefüllt auszupumpen, damit die beim Exant-

---

1 Die Gröſse der Strahlung im luftleeren Raume und auch in einer ruhenden Luftmasse ist zwar genügend bekannt, vergl. oben *Strahlung*, allein nicht unter der Bedingung einer statt findenden Strömung und obendrein bei vorhandener Dampfbildung.

liren zurückbleibenden geringen Antheile atmosphärischer Luft bis auf einen nicht in Betrachtung kommenden Rest verschwanden. Aus den gefundenen Gröfsen wurde die Wärmecapacität der Gase nach folgender Formel berechnet:

$$c = \frac{5e'(650 - t')}{8\varrho(t - t')(p - e')},$$

worin c die specifische Wärmecapacität der Gase unter constantem Drucke, t die Temperatur des trocknen und t' die des befeuchteten Thermometers, p den Luftdruck, e' die Elasticität des Wasserdampfes im Zustande seiner gröfsten Dichtigkeit bei der Temperatur t', ϱ endlich das specifische Gewicht des Gases bezeichnet. Das Verhältnifs 5 zu 8 endlich drückt dasjenige aus, welches für gleiche Temperaturen und gleichen Barometerdruck zwischen der Dichtigkeit der Luft und des Wasserdampfes statt findet. SUERMAN glaubt einen oft begangenen Fehler zu vermeiden, indem er für die latente Wärme des Dampfes statt 550° C., welche für eine Temperatur von 100° gilt, die veränderliche Gröfse 650° — t' wählt, weil nicht die latente Wärme des Dampfes eine bei jeder Temperatur constante Gröfse ist, sondern die Summe der latenten und sensibeln Wärme desselben.

408) Ohne die einzelnen, durch SUERMAN gefundenen Gröfsen herzusetzen, wird es genügen, hier mitzutheilen, dafs mit atmosphärischer Luft 12; mit Sauerstoffgas 9; mit Wasserstoffgas 9; mit Kohlenoxydgas 6; mit Stickstoffoxydul 6; mit Kohlensäure 8 Versuche angestellt wurden, welche mit sehr geringen Unterschieden überraschend genau übereinstimmen, und aus denen daher, ohne dafs es einer Ausschliefsung bedurfte, das Mittel genommen ist. Die specifischen Gewichte der Gase, auf das der Luft als Einheit reducirt, sind für Sauerstoffgas = 1,1026; für Wasserstoffgas = 0,0688; für Kohlenoxydgas = 0,9678; für Stickstoffoxydul = 1,5269 und für Kohlensäure = 1,5254 angenommen. Zur besseren Uebersicht stellt SUERMAN die durch ihn erhaltenen, auf die angegebene Weise berechneten und auf die der atmosphärischen Luft als Einheit reducirten Resultate mit denen zusammen, welche DELAROCHE und BÉRARD, desgleichen APJOHN gefunden haben.

Gase	Specifische Wärme bei gleichem Volumen			Specifische Wärme bei gleichen Gewichten.		
	Delaroche u. Bérard	Apjohn	Suerman	Delaroche u. Bérard	Apjohn	Suerman
Luft	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Sauerstoffgas . .	0,9765	. . . .	0,9954	0,8848	. . . .	0,9028
Wassersoffgas . .	0,9033	1,8948	1,3979	12,3401	27,5407	20,3191
Stickgas	1,0000	0,9887	1,0005	1,0318	1,0169	1,0293
Kohlenoxydgas .	1,0340	1,0808	0,9923	1,0805	1,1167	1,0253
Stickstoffoxydul	1,3503	1,1652	1,1229	1,8878	0,7631	0,7354
Kohlensäure . .	1,2585	1,0916	1,0655	0,8280	0,7161	0,6975

Das Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft zu der des Wassers ist durch Suerman anders gefunden worden, als durch Delaroche und Bérard, und es dürfte angemessen seyn, auch hiernach die verschiedenen Werthe zusammenzustellen.

Specifische Wärme gegen die des Wassers als Einheit.

Gase	Delaroche und Bérard	Suerman
Luft	0,2669	0,3046
Sauerstoffgas . .	0,2361	0,2750
Wasserstoffgas .	3,2936	6,1892
Stickstoffgas . . .	0,2754	0,3135
Kohlenoxydgas .	0,2881	0,3123
Stickstoffoxydul	0,2369	0,2240
Kohlensäure . .	0,2210	0,2124

Suerman bemerkt selbst, dafs die von ihm gefundenen Werthe, mit Ausnahme der beiden letzten, insgesammt gröfser sind[1], und er betrachtet dieses als eine Folge der Wärme,

1 Suerman fand durch spätere im folgenden §. erwähnte Versuche die specifische Wärme der atmosphärischen Luft gegen Wasser als Einheit genommen = 0,2885, und er hält diese Bestimmung für die richtigere. Wollte man hiernach die übrigen Werthe corrigiren, so würde die Uebereinstimmung weit genauer werden, die beiden letzten Bestimmungen aber allzusehr abweichen. Ich habe daher Bedenken

welche das befeuchtete Thermometer durch Strahlung von der Röhrenwand erhielt, denn diese vermindert die Verdungstungskälte, und da die letztere sich umgekehrt verhält, wie die specifische Wärme, so muſs das, was die erstere vermindert, die letztere vergröſsern. Inzwischen müſste diese Ursache auf alle Gase gleichmäſsig wirken, was jedoch mit den Resultaten nicht übereinstimmt. Nach Dulong ist die verschiedene Beweglichkeit der Theilchen eines Gases die vorzüglichste Quelle von Fehlern bei der Bestimmung ihrer specifischen Wärmen, und es fragt sich daher, ob wir diese auch im vorliegenden Falle als einwirkend zu betrachten haben, was jedoch nach Suermann nicht statt finden kann. Die genannte Eigenschaft ertheilt nämlich den Gasen ein verschiedenes Erkaltungsvermögen, weil die Verdunstung z. B. in Wasserstoffgas schneller vor sich geht als in Kohlensäure, mithin die Verdunstungskälte der letzteren verhältniſsmäſsig kleiner seyn muſs, als des ersteren; da aber die berechnete specifische Wärme der beobachteten Kälte umgekehrt proportional ist, so müſste hiernach die specifische Wärme des Wasserstoffgases zu klein, die der Kohlensäure aber zu groſs gefunden seyn, wovon gerade das Gegentheil statt findet. Leichter läſst sich der Fehler gleichfalls aus der Wärmestrahlung der Hülle ableiten. Es war nämlich zwar die Geschwindigkeit der Strömung bei jeder Gasart gleich, allein wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit war die in gleichen Zeiten durchströmende Gasmenge allerdings verschieden, und betrug z. B. in 7,5 Minuten bei atmosphärischer Luft 49,48 Gramm, bei Wasserstoffgas 3,4 und bei der Kohlensäure 75,28 Gramm. Hiernach muſste die Menge des Dampfes, welche sich durch die vom Wasserstoffgas abgegebene Wärme bilden konnte, weit kleiner seyn als die, welche durch ein gleiches Volumen Kohlensäure erzeugt wurde; die Einwirkung der Strahlung muſste ebendaher im ersten Falle weit gröſser seyn als im letzten, und die berechnete specifische Wärme des Wasserstoffgases wird daher leichter von der Wahrheit sich entfernen als die der schwereren Gase.

409) Suermann wirft, wie billig, die Frage auf, ob das

---

getragen, diese Correction vorzunehmen, und vorgezogen, die Werthe, wie sie hier gegeben sind, in die unten nachfolgende Tabelle zu setzen.

durch HAYCRAFT behauptete, durch MARCET und DELARIVE aus ihren Versuchen gefolgerte Gesetz [1], dafs alle Gase bei gleichem Volumen eine gleiche specifische Wärme haben, mit den Resultaten seiner Versuche vereinbar sey. In diesem Falle müfste die Verdunstungskälte in allen Gasen dieselbe seyn, was zwar mit seiner Erfahrung streitet; allein wenn man berücksichtigt, das das Wasserstoffgas so ausnehmend leicht ist, so glaubt er, dafs die hierbei erhaltene bedeutende Abweichung sich wohl aus der ungleichen Gasmenge (in Beziehung auf die Masse) erklären lasse, welche in einer gegebenen Zeit bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung durch die Röhre strömte, und es könnte dann allerdings das durch DULONG aufgestellte Gesetz (§. 402), wonach alle einfache Gase bei gleichem Volumen eine gleiche Wärmecapacität haben sollten, mit den durch SUERMAN erhaltenen Resultaten vereinbar seyn. Für alle Gase kann dieses Gesetz nach seiner Ansicht nicht statt finden; denn obgleich der Unterschied beim Kohlenoxydgas nur klein ist, so steigt er doch bei den beiden andern zusammengesetzten Gasen, dem Stickstoffoxydul und der Kohlensäure so sehr, dafs seine Versuche die Zulässigkeit des aufgestellten Gesetzes nicht gestatten.

410) Wie oben (§. 397) mitgetheilt worden ist, suchten MARCET und DELARIVE auch die Frage zu beantworten, in welchem Verhältnisse die specifische Wärme der Gase zu ihrem gröfseren oder geringeren Drucke stehe, wobei sie zwar allerdings einen statt findenden Unterschied wahrnahmen, ein allgemeines Gesetz hierüber jedoch nicht aufzufinden vermochten. SUERMAN machte die Beantwortung dieser Frage zunächst in Beziehung auf Luft unter geringerem Drucke als dem mittleren atmosphärischen gleichfalls zum Gegenstande einer eigends unternommenen Versuchsreihe. Zu diesem Ende liefs er die Luft durch vier auf gewöhnliche Weise verbundene Woulff'sche Flaschen strömen, die zum Austrocknen der Luft mit Schwefelsäure und Glasstücken gefüllt waren, um Stöfse der Luft zu vermeiden und zugleich mehr Oberfläche darzubieten. Das Eintrittsrohr an der ersten Flasche war mit einem

1 Der Erste, welcher dieses Gesetz aufstellte, war GAY-LUSSAC (§. 392); er nahm es aber nachher selber wieder zurück, s. Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 392. Vergl. unten §. 412.

Hahn versehn, der sich mehr oder weniger öffnen liefs, um die Menge der einströmenden Luft zu reguliren, worin dann zugleich das Mittel lag, den Druck derselben willkürlich zu verringern. Aus der letzten Flasche trat die wohlgetrocknete Luft in die oben angegebene gekrümmte Röhre, in deren einem Schenkel sich das Thermometer befand, welches die Temperatur der trocknen Luft mafs, im andern aber das abzuschraubende mit benetzter Kugel, um die Verdunstungskälte zu messen. Aus diesem zugleich mit einem manometrischen Apparate versehenen Theile der ganzen Vorrichtung strömte die Luft noch durch zwei Woulff'sche Flaschen, deren eine Quecksilber enthielt, um die Strömung gleichmäfsiger zu machen, und gelangte endlich zu einer Campane auf dem Teller einer Luftpumpe; letztere exantlirte stets gleichmäfsig, und die Bewegung der Kolben wurde daher nach einem Metronom regulirt, wodurch sich mit Hülfe des mehr oder weniger geöffneten Hahns beim Eintritt der Luft ein stets gleichmäfsiger Strom von stufenweise geringerer, aber für die Dauer jedes einzelnen Versuches gleichbleibender Dichtigkeit der Luft erreichen liefs. Die Strömungsgeschwindigkeit war bei dieser Vorrichtung weit gröfser als bei den früheren Versuchen, nämlich 20 Liter in einer Minute, weswegen man eine höhere Genauigkeit erwarten darf. Mit diesem Apparate wurde 18 Versuche angestellt, in denen der Luftdruck von 0,6911 bis 0,31963 Meter abnahm. Aus den gefundenen Gröfsen wurde die specifische Wärme mittelst der oben angegebenen Formel berechnet, und zeigte sich mit abnehmendem Drucke zunehmend. Dieses Resultat steht mit dem (§. 397) durch Marcet und Delarive erhaltenen keineswegs in Widerspruch, beide dienen vielmehr einander zur Bestätigung. Allerdings war in jenen Versuchen die Temperatur, welche die dünnere Luft binnen 5 Minuten annahm, gröfser als diejenige, welche die dichtere in gleicher Zeit erhalten hatte, und dieses würde, für sich genommen, eine geringere specifische Wärme der verdünnten Luft anzeigen; wenn man aber berücksichtigt, dafs die Volumina gleich waren, mithin bei einem Drucke von 0,258 Meter sich nicht die Hälfte der Masse Luft in der Kugel befand, als bei 0,650 Meter Druck, dennoch aber bei jenem das Thermometer während der gleichen Zeitdauer von 5 Minuten nur 7°,3 und bei diesem 6°,3 stieg, mithin die Temperaturzunahme nur 1° C. betrug,

obgleich die vorhandene Luftmasse noch nicht die Hälfte ausmachte, so folgt hieraus wohl unwidersprechlich, dafs die auf die Masse sich beziehende specifische Wärmecapacität der verdünnten Luft gröfser ist. Nach den Versuchen Suermann's ist aber die Zunahme der Wärmecapacität mit vermindertem Drucke nur gering, und nahm nur etwa um 0,1 zu, während der Druck von 0,69 bis 0,32 Meter, also um mehr als die Hälfte abnahm. Wegen der grofsen Schnelligkeit des Strömens, welche die frühere um sechsmal übertraf, kann der aus der Strahlung der Röhre entspringende Fehler nur ein geringer seyn. Beim letzten Versuche mit Luft vom geringsten Drucke strömte indefs nur etwa die Hälfte Luft in gleicher Zeit durch den Cylinder, als beim ersten mit Luft vom stärksten Drucke, mithin mufste bei jenem die gefundene specifische Wärme vergröfsert werden, wenn aus der Strahlung ein Fehler erwachsen wäre; diesem steht aber ein anderes, gleich gewichtiges, Argument entgegen. In der verdünnten Luft ist die Verdunstung stärker, und erreicht im Vacuum ihr Maximum. Hieraus mufste der entgegengesetzte Fehler erwachsen, also die Wärmecapacität der verdünnten Luft geringer erscheinen. Ob beide einander entgegengesetzte Fehlerquellen einander genau compensiren oder ein Ueberschufs der einen über die andere bleibt, wagt Suermann nicht zu entscheiden.

411) Suermann vergleicht die von ihm erhaltenen Resultate mit den theoretischen Bestimmungen Poisson's[1]. Nach diesem ist

$$\gamma = c\left(\frac{P}{p}\right)^{1-\frac{1}{k}},$$

wenn γ die specifische Wärme für einen constanten Druck $= p$ und c die für einen solchen $= P$; k aber das Verhältnifs der specifischen Wärme bei constantem Druck zu der bei constan-

---

1 Traité de Mécanique. 2me éd. T. II. p. 649. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. T. XXIII. p. 337. G. LXXVI. 269. Es scheint mir nicht angemessen, die theoretischen Bestimmungen dieses bedeutenden Geometers hier ausführlicher mitzutheilen, denn es dürfte sich nicht leicht ein Gelehrter bewogen fühlen, mittelst derselben die specifischen Wärmen gasförmiger Körper zu ermitteln, und die geringe Uebereinstimmung dieser Theorie mit Suermann's Versuchen zeigt ohnehin, dafs man ihnen kein unbedingtes Vertrauen schenken kann.

tem Volumen bezeichnet. Wird demnach P = 0,76 Meter; c nach DELAROCHE und BÉRARD = 0,2669; k aber aus der beobachteten Schallgeschwindigkeit = 1,415 angenommen, so erhält man

$$\gamma = 0,2669 \sqrt[3,41]{\frac{0,76}{p}}.$$

Zehn hiernach berechnete Werthe geben

p = 0,76	... γ = 0,2669	p = 0,50	... γ = 0,3018
0,70	0,2734	45	0,3111
0,65	0,2794	40	0,3222
0,60	0,2860	35	0,3350
0,55	0,2935	30	0,3505

welche Gröfsen jedoch, mit den Resultaten der Versuche verglichen, bedeutend von diesen abweichen, und zwar mit den Verdünnungen zunehmend. Ungleich genauere, und wahrhaft überraschend übereinstimmende Werthe giebt aber eine andere, durch CLAPEYRON[1] aufgestellte Formel, wonach

$$\gamma = A - B \text{ Log.} p$$

ist, wenn γ die specifische Wärmecapacität unter constantem Druck = p, A und B aber Constanten bezeichnen, die aus Versuchen zu bestimmen sind. Werden diese aus allen 18 Versuchen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so ist

$$A = 0,5139; \; B = 0,07998; \text{ und } \gamma = 0,2835 \text{ für } p = 0,76.$$

SUERMAN stellt die 18 von ihm gefundenen, mit abnehmenden Drucke wachsenden, specifischen Wärmecapacitäten der atmosphärischen Luft mit den nach dieser Formel berechneten zusammen, und die nebenstehenden Differenzen zeigen augenfällig die aufserordentliche Uebereinstimmung[2].

1 Journ. de l'école polytechnique. 1834. T. XIV. p. 170.

2 Es ist dieses um so leichter möglich, weil in der einfachen Formel die so wesentlichen Coefficienten aus den Beobachtungen selbst entnommen sind.

Vers. Nr.	p. Meter	γ nach Versuchen	γ nach Rechnung	Unterschied
1	0,69110	0,2866	0,2868	+ 0,0002
2	0,69049	0,2869	0,2868	— 0,0001
3	0,68320	0,2891	0,2872	— 0,0019
4	0,63921	0,2900	0,2895	— 0,0005
5	0,62024	0,2915	0,2905	— 0,0010
6	0,56834	0,2927	0,2936	+ 0,0009
7	0,56075	0,2927	0,2941	+ 0,0024
8	0,55660	0,2925	0,2943	+ 0,0018
9	0,51455	0,3018	0,2970	— 0,0048
10	0,50886	0,2964	0,2974	+ 0,0010
11	0,46707	0,3004	0,3004	0,0000
12	0,43418	0,3017	0,3029	+ 0,0012
13	0,42468	0,3011	0,3037	+ 0,0026
14	0,38102	0,3081	0,3075	— 0,0006
15	0,37596	0,3075	0,3079	+ 0,0004
16	0,33987	0,3103	0,3114	+ 0,0011
17	0,32090	0,3151	0,3134	— 0,0017
18	0,31963	0,3149	0,3136	— 0,0013

Die Unterschiede sind so gering, und heben sich gegenseitig so vollständig auf, dafs mindestens die Genauigkeit der Versuche evident daraus hervorgeht. Der wahrscheinliche Fehler der Beobachtungen beträgt nicht mehr als 0,0013, der des Coefficienten A 0,0070 und des Coefficienten B 0,0026.

Suermann beabsichtigte auch die Wärmecapacitäten der Luft unter höherem Drucke als dem von ihm angewandten oder dem mittleren atmosphärischen zu ermitteln, und es ist zu bedauern, dafs er hieran durch anderweitige Beschäftigungen gehindert wurde, denn sonst würde sich gezeigt haben, ob auch auf diese die angegebene Formel anwendbar sey. Der gebrauchte Apparat liefse sicht für diesen Zweck leicht abändern, wenn man statt der exantlirenden Pumpe eine comprimirende wählte, und die comprimirte Luft an der entgegengesetzten Seite durch die Oeffnung eines regulirten Hahnes ausströmen liefse.

412) Ueberblicken wir die ganze Reihe der hier mitgetheilten Untersuchungen, so erscheint die Methode der Mischungen unter allen als die einfachste, und sie giebt daher auch die richtigsten Resultate. Solche würden ohne Zweifel auch aus den Versuchen von Delarive und Marcet (§. 393 ff.)

hervorgegangen seyn, wenn nicht die von ihnen angewandten Quantitäten der untersuchten Gase zu gering gewesen wären, deren Masse gegen die der übrigen Theile der gebrauchten Apparate immer noch geringfügig blieb[1]. Hiermit stimmt auch überein, dafs die nach der angegebenen Methode angestellten Versuche von Delaroche und Bérard (§. 386) bis jetzt noch immer die gröfste Autorität haben. Allerdings läfst sich nicht leugnen, dafs die Versuche von Dulong und die von Suerman sehr scharfsinnig erdacht, mit unglaublicher Sorgfalt und dem höchsten Grade von experimenteller Geschicklichkeit durchgeführt sind, weswegen auch namentlich die durch den Letzteren gefundenen relativen Capacitäten bei ungleichem Drucke unter sich so merkwürdig übereinstimmen, und einen höchst wichtigen, wenn gleich nur partiellen, Beitrag zum Ganzen unserer Kenntnifs der Wärmecapacitäten zunächst der Luft, und daher auch wahrscheinlich aller gasförmigen Körper bilden. Bei Dulong's und Suerman's Methoden sind die Apparate ebenso zusammengesetzt und einer gleichen Menge Bedingungen unterworfen, die Fehler herbeiführen können, als die von Delaroche und Bérard gebrauchten; aufserdem aber beruhen sie auf Grundlagen, die keineswegs für absolut gewifs gelten können. Berücksichtigen wir zuerst die Methode Suerman's, so setzt diese die Elasticität, die Dichtigkeit und die latente Wärme des Wasserdampfes als absolut richtig voraus, und wenn gleich die Resultate der Versuche, wodurch diese Gröfsen gefunden wurden, sehr nahe mit einander übereinstimmen, und dieses sehr für ihre Genauigkeit entscheidet, so bleibt doch immer fraglich, ob spätere, noch genauere Versuche nicht andere gleichfalls noch genauere Resultate liefern, gerade wie dieses bei dem durch Rudberg gefundenen Coefficienten für die Ausdehnung der Gase der Fall gewesen, obgleich seit 20 Jahren niemand den früher angenommenen nur zu bezweifeln wagte. Die Bestimmung der latenten Wärme des Wasserdampfes macht keineswegs auf eine gleiche Zuverlässigkeit Ansprüche, und wird in der That von verschiedenen Schriftstellern nicht gleich übereinstimmend angenommen. Aus der ungewöhnlichen Uebereinstimmung der Resultate der letzten Versuchsreihe unter

1 Dieses bezieht sich jedoch nicht auf deren neueste Versuche in §. 399.

sich folgt daher nichts weiter als eine ausnehmende Genauigkeit bei der Anstellung der Versuche, keineswegs aber eine absolute Richtigkeit derselben an sich; denn es wäre aus den angegebenen Gründen leicht möglich, dafs alle mit den nämlichen Fehlern behaftet wären. Dulong's Versuche beruhn auf einem Satze, welchen zwar der scharfsinnigste und tiefste Gelehrte der neuesten Zeit ausgesprochen hat, der aber deswegen noch keineswegs über jeden Zweifel erhaben ist, wobei es immer auffallend bleibt, dafs er durch die directen Versuche von Clément und Désormes, von Gay-Lussac und Welter, so wie von Prechtl nicht bestätigt wurde, deren Bestimmungen sämmtlich kleiner sind, als diejenige, welche Dulong aus der Schallgeschwindigkeit entnahm. Offenbar aber darf man aus der empirisch gefundenen Schallgeschwindigkeit keinen Beweis für die Richtigkeit dieses Coefficienten hernehmen, weil vielmehr die Zulässigkeit der ganzen Hypothese darauf beruht, ob durch diesen anderweitig scharf bestimmten Coefficienten die theoretische Schallgeschwindigkeit mit der durch die Erfahrung gefundenen genau übereinstimmt. Ueberhaupt aber bin ich der unmafsgeblichen Ansicht, dafs wir bei der Bestimmung der specifischen Wärme der Gase, nach dem oben (§. 404) hierüber festgesetzten Begriffe, ebenso wie bei allen andern Körpern, diejenige Wärme, welche durch Compression erzeugt wird, ganz unberücksichtigt lassen müssen, obgleich sich keinen Augenblick verkennen läfst, dafs beide innig mit einander verbunden sind. Dieser Meinung ist auch der ebenso gelehrte als scharfsinnige Biot[1], dessen Aeufserung hierüber wörtlich aufzunehmen ich kein Bedenken trage. „Die erhaltenen Bestimmungen der specifischen Wärme sind der Ausdruck eines sehr zusammengesetzten Phänomens. Nach der Art, wie die Versuche angestellt werden, ziehen sich die Gase zu gleicher Zeit zusammen, wenn sie sich abkühlen[2], weil sie stets unter demselben Drucke standen. Die Erwärmung, die sie erzeugen, ist daher die zusammengesetzte Wirkung der Wärme, die sie abgeben, indem sie sich abkühlen, und zugleich indem sie sich zusammenziehn, statt dafs man diese beiden

1 Traité de Physique. T. IV. p. 727.

2 Dieses leidet auf die Versuche von Dulong keine Anwendung, doch stehn diesen andere Argumente entgegen.

„Effecte abgesondert betrachten, d. h. diejenige Wärmemenge „bestimmen müfste, welche jedes Gas abgiebt, indem es sich „in einem unveränderlichen Raume, also bei gleichbleibendem „Volumen, abkühlt, und demnächst diejenige, welche es ab- „giebt, wenn sein Volumen sich ändert bei gleichbleibender „äufserer Temperatur. Die Trennung dieser beiden Phänomene „erscheint als ausnehmend schwierig, würde aber unvermeidlich „seyn, wollte man ganz einfache Resultate haben, und die ei- „gentlichen Gesetze, welche diese Effecte bedingen, in ein hel- „les Licht setzen. Allein man ist eben diesen Unbequemlich- „keiten unterworfen bei den Versuchen, welche man anstellt, „um die specifischen Wärmecapacitäten der tropfbar flüssigen „und der festen Körper zu bestimmen, weil auch diese sich „nothwendig in dem Mafse zusammenziehn, als sie sich ab- „kühlen; weil aber ihre Zusammenziehung nur gering ist, so „wird vorausgesetzt, dafs auch die hierdurch erzeugte Wärme „nur unbedeutend sey in Vergleichung mit der, welche sie „durch Abkühlung abgeben. Aber, die Wahrheit zu gestehen, „nichts beweiset, dafs es wirklich so sey, ja man könnte ver- „anlafst werden, das Gegentheil zu glauben, wenn man die „aufserordentliche Menge von Wärme berücksichtigt, welche „die festen Körper entwickeln, wenn man ihre Theile von „einander trennt, wie dieses durch Reiben, durch Drehen, „durch Bohren geschieht, welches letztere nichts anderes ist, „als ein rohes Reiben mit Abreifsen der oberen Theilchen von „den unteren. Betrachtet man aus diesem Gesichtspuncte die „Bohrspähne, welche von dem bronzenen Kanonenstücke ab- „gerissen waren, so fand Rumford, dafs sie die nämliche „specifische Wärme hatten als die Masse, von welcher sie „gerissen waren, woraus sich schliefsen läfst, dafs die enorme „entwickelte Wärme einzig zwischen den soliden Moleculen „des Bronzekörpers, also zwischen den kleinen Gruppen dieser „Partikeln existirte, welche der Bohrer abgerissen hatte. Ist „diesem wirklich so, dann mufs diese Wärmemenge auf glei- „che Weise jedesmal sich verändern, sobald ein Körper sich „ausdehnt oder zusammenzieht, und diese Wirkung, welche „mit der durch blofse Veränderung der Temperatur frei ge- „wordenen Wärme verbunden ist, kann sehr wohl nicht so ge- „ring seyn als man sich gewöhnlich einbildet. So lange „diese beiden Wirkungen nicht durch Versuche von einander

„getrennt sind, können die erhaltenen Resultate keine andere „seyn als zusammengesetzte, und vielleicht liegt in dieser Zu- „sammensetzung der Grund, welcher bis jetzt gehindert hat, „irgend ein Verhältnifs der specifischen Wärme der Körper „und ihrer chemischen Beschaffenheit mit Sicherheit aufzu- „finden.“

Wie es sich auch mit den verschiedenen, in der mitgetheilten Aeufserung in Anregung gebrachten ebenso wichtigen als schwierigen Problemen verhalten mag, so geht mindestens so viel evident daraus hervor, dafs eine Volumensvermehrung durch Wärme bei allen Körpern vorkommt, und bei allen auf die Bestimmung ihrer specifischen Wärme einen Einflufs ausübt. Soll daher der Begriff, welchen wir mit specifischer Wärmecapacität verbinden, für alle Körper derselbe seyn, sollen die gefundenen Gröfsen unter sich vergleichbar seyn, so dürfen wir nicht bei einer Classe derselben, den gasförmigen, den Einflufs der Ausdehnung ausschliefsen, bei andern dagegen beibehalten, ja es mufs mo möglich die Methode die Wärmecapacitäten zu bestimmen mit gehörigen Modificationen bei allen Arten von Körpern dieselbe seyn. Sofern es aber wohl ausgemacht ist, dafs die Methode der Mischungen bei festen und tropfbar flüssigen Körpern vor allen andern den Vorzug hat, so müssen wir diese wo möglich auch bei den gasförmigen in Anwendung bringen. Allerdings macht bei diesen die geringe Masse derselben ein grofses Hindernifs, allein durch das von Delaroche und Bérard gewählte Verfahren wird auch dieses glücklich beseitigt, weswegen denn ihre Versuche, denen wir die späteren von Marcet und Delarive unbedenklich an die Seite setzen können, noch immer unter die schätzbarsten gehören, die gröfste Autorität besitzen und am meisten in Anwendung gebracht werden. Leider haben die Experimentatoren einen Fehler nicht vermieden, dessen Einflufs zwar unbedeutend seyn mag, immerhin aber der absoluteren Genauigkeit der erhaltenen Resultate einigen Abbruch thut, nämlich dafs sie die Gase nicht vorher austrockneten, um den möglichen und unter gewissen Bedingungen leicht beträchtlichen Einflufs der Wasserdämpfe zu vermeiden. Ist es gegründet, dafs die Wasserdämpfe sich durch Wärme genau so als die Gase ausdehnen, und dürfen wir hieraus folgern, dafs ihre specifische Wärme so lange als sie nicht niedergeschlagen

werden, was allerdings bedeutende Fehler herbeiführen müfste, mit der der Gase sehr nahe übereinstimmt oder mindestens nur unbedeutend davon abweicht, so konnten aus der immer nur geringen Feuchtigkeit der gebrauchten Gase nicht wohl merkliche Fehler erwachsen; immerhin aber wäre wünschenswerth, dafs diese Fehlerquelle vermieden seyn möchte. Hätten die beiden wackeren Gelehrten auf eine solche Weise, wie z. B. Suermann, mit grofsen Gasometern operirt, und die Gase vorher durch Chlorcalcium hinlänglich ausgetrocknet, so würde den von ihnen gefundenen Resultaten ein noch weit höherer Werth gebühren. Es ist daher sehr erfreulich, dafs Marcet und Delarive den nämlichen Weg betreten und dabei zugleich den genannten Fehler vermieden haben.

413) Die specifische Wärme aller Körper gehört allezeit einer gewissen Temperatur an, sofern man sie entweder für t oder für $\frac{t+t'}{2}$ bestimmt, wie bereits gelegentlich erwähnt worden ist (§. 404); mithin mufs bei allen, und daher auch bei den Gasen, die Frage beantwortet werden, ob die specifische Wärme derselben für alle Temperaturen dieselbe ist, oder ob sie mit den Veränderungen derselben sich gleichfalls verändert, allgemein in welchem Verhältnifs die specifische Wärme der Körper zu ihrer Temperatur steht. Aus den mitgetheilten Versuchen läfst sich diese Frage in Beziehung auf die Gase nicht beantworten; denn sie sind zwar bei verschiedenen Temperaturen angestellt, aber nicht bei so weit von einander abstehenden, dafs dieser Einflufs, welcher höchst wahrscheinlich nur ein geringer ist, sich daraus entnehmen liefse, aufserdem aber wurden bei ihnen verschiedene Methoden angewandt, weswegen die Abweichungen von einander in diesen und der ungleichen Genauigkeit, die sie gewähren, liegen können. Inzwischen hat sich Gay-Lussac[1] die directe Beantwortung dieser Frage zum Ziele gesteckt. Nach der von ihm angewandten, bereits (§. 392) angegebenen Methode vereinigte er bei 16° C. äufserer Temperatur gleiche Volumina atmosphärischer Luft, das eine von — 20°, das andere von + 52°, und fand, dafs sich die Capacität der kalten Luft zu der der warmen wie 1:1,206 verhielt. Als er diese Versuche mit Wasserstoffgas

1 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 392.

und atmosphärischer Luft wiederholte, fand er, dafs die Capacität der bis — 20° erkalteten atmosphärischen Luft sich zu der des bis 52° erwärmten Wasserstoffgases wie 1:0,907 verhielt; war aber das Wasserstoffgas bis — 20° erkältet, die Luft aber bis 52° erwärmt, so war das Verhältnifs = 1:0,752. In einem gleichen Versuche mit Kohlensäure gab die bis — 20° erkältete Luft und bis 52° erwärmte Kohlensäure das Verhältnifs = 1:1,518, war aber die Luft bis 52° erwärmt, die Kohlensäure bis — 20° erkältet, so wurde dieses Verhältnifs = 1:119. Hieraus folgt, dafs die specifische Wärmecapacität der Gase mit zunehmender Temperatur wächst, ohne dafs jedoch diese Versuche genügen, ein bestimmtes Gesetz hierüber aufzustellen.

414) Es ist wiederholt von einem allgemeinen Gesetze die Rede gewesen, welches sich über die specifischen Wärmen aller gasförmigen Körper aufstellen lasse, und wir müssen zum Beschlufs diese Aufgabe hier nochmals speciell zur Erörterung bringen. In Beziehung auf die Gase war Gay-Lussac der erste, welcher den Satz aufstellte, dafs die Wärmecapacitäten aller elastischen Flüssigkeiten bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhielten, was er aus den Resultaten seiner frühesten Versuche ableitete und bei der Wiederholung derselben bestätigt fand, obwohl seine Aeufserung hierüber nur dahin ging, dafs er dieses für wahrscheinlich halte (§. 392). Da sich annehmen läfst, dafs ihre Volumina ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sind, so heifst der Satz zugleich soviel, dafs die Wärmecapacität aller Gase unter gleichem Drucke gleich sey[1]. Inzwischen nahm er selbst[2] dieses Gesetz ausdrücklich und ganz ohne Beschränkung wieder zurück, indem er erklärte, dasselbe sey völlig unrichtig; die Gasarten hätten keineswegs einerlei Capacität für die Wärme, sondern jede habe ihre ei-

1 In dieser Form hat Dalton (neues System u. s. w. Th. I. S. 80.) diesen Satz zuerst ausgesprochen, zugleich aber auch die Einwendungen vorgebracht, die sich dagegen aufstellen lassen. Wegen seines Zusammenhanges mit einem andern wichtigen Gesetze verspare ich diese Untersuchung bis weiter unten §. 445 u. 446.

2 Ann. de Chim. T. LXXXIII. p. 629. G. XLVIII. 892.

gene, von der der andern sehr verschiedene Wärmecapacität. Dennoch haben die meisten späteren Experimentatoren bei ihren Versuchen zur Auffindung der Wärmecapacitäten gasförmiger Flüssigkeiten diese Frage abermals berücksichtigt, und das Resultat, wozu sie gelangten, mit angegeben. HAYCRAFT folgerte aus seinen Versuchen, daſs allgemein die specifische Wärme der Gase sich umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten verhielten, weil gleiche Volumina derselben unter gleichem Drucke seinem Calorimeter gleiche Wärmemengen mitgetheilt hatten (§. 391). Zu einem gleichen Resultate gelangten auch MARCET und DELARIVE, nämlich daſs alle Gase für gleiche Volumina und gleiche Elasticitäten die nämliche specifische Wärme haben sollen (§. 397), ein Satz, welcher um so auffallender ist, da sich ihre Versuche auf eine so bedeutende Menge gasförmiger Körper erstreckten, nämlich atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Stickgas, Wasserstoffgas, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, salpetriges Gas, Schwefelwasserstoffgas, Ammoniakgas, schwefligsaures Gas, Chlorwasserstoffsäure und Cyan (§. 396). Auch durch ihre neuesten Versuche fanden diese Gelehrten das aufgestellte Gesetz bestätigt, daſs die Gase unter dem nämlichen Drucke und bei gleichem Volumen gleiche specifische Wärme haben sollen, indem unter den zusammengesetzten Gasen bloſs zwei von dieser Regel abweichen, nämlich das ölerzeugende Gas und die Kohlensäure; doch gestehn sie zu, daſs es zwar allerdings eine sichere Anwendung auf die einfachen Gase, keineswegs aber auf die zusammengesetzten leide (§. 399). Nach DULONG verdienen die Versuche von DELAROCHE und BÉRARD, ihrer Mängel ungeachtet, noch immer das meiste Vertrauen, und setzen daher auſser Zweifel, daſs alle einfache und zusammengesetzte Gase unter gleichem Drucke und bei gleichem Volumen keineswegs gleiche Wärmecapacitäten besitzen (§. 400). Inzwischen fand DULONG durch seine eigenen Versuche das Gesetz für die einfachen Gase, das Sauerstoffgas und Wasserstoffgas bestätigt, und ebenso für die zusammengesetzten, die atmosphärische Luft und das Kohlenoxydgas (§. 401), und da das Stickstoffgas nach DELAROCHE und BÉRARD sich genau wie atmosphärische Luft verhält, so könnte man allerdings folgern, daſs das Gesetz auf die einfachen und einige zusammengesetzte Gase Anwendung leide. APJOHN verwirft das Gesetz in dieser Beschränkung,

welches er als von Dulong aufgestellt betrachtet, dafs nämlich alle einfache Gase unter constantem Drucke und constantem Volumen gleiche Wärmecapacitäten haben sollen, weil es für Wasserstoffgas nicht passe, um so viel mehr also eine allgemeine Anwendung desselben auf alle, auch die zusammengesetzten gasförmigen Körper überall nicht statthaft sey (§. 406). Endlich hat Suermann diese Frage speciell erörtert, und schliefst aus den von ihm erhaltenen Resultaten, dafs das Gesetz in der Ausdehnung, wie es von Marcet und Delarive aufgestellt ist, wonach gleiche Volumina aller Gase unter gleichem Drucke dieselbe specifische Wärme haben sollen, unstatthaft sey, denn das Kohlenoxydgas zeige zwar nur eine geringe Abweichung, andere aber eine desto gröfsere, aus Beobachtungsfehlern durchaus nicht abzuleitende; dagegen glaubt er, dafs dasselbe in der von Dulong angegebenen Beschränkung, wonach blofs die einfachen Gase und einige zusammengesetzte diese gleiche Wärmecapacität haben sollen, wohl statt finden könne, weil die allerdings bedeutende Abweichung, die bei ihm das Wasserstoffgas zeigte, wohl aus Beobachtungsfehlern abzuleiten sey. Das ganze Problem gewinnt ausnehmend an Interesse und Wichtigkeit, wenn man es aus einem anderen wissenschaftlichen Gesichtspuncte betrachtet. Wir werden später sehen, dafs nach den Untersuchungen von Dulong und Petit über die specifischen Wärmecapacitäten der festen Körper ein gewisses *Verhältnifs zwischen den Atomgewichten und den Wärmecapacitäten* der Körper statt finden soll. Dieses Gesetz stimmt sehr überein mit der Theorie, dafs die Molecüle der Körper mit Wärmesphären umgeben sind, und bei ihren verschiedenen Aggregatzuständen sich im stabilen Gleichgewichte der einander entgegenwirkenden anziehenden und repulsiven Kräfte befinden, die Wärme als repulsive Kraft selbst oder als ihren Träger betrachtet. In den Gasarten, namentlich den einfachen, müfste der Conflict dieser Kräfte, also auch das quantitative Verhältnifs des in ihnen vorhandenen Wärmestoffes, am einfachsten wahrnehmbar seyn, und aufserdem zeigt sich, dafs die Dichtigkeiten derselben unter gleichem Drucke zu ihren Atomgewichten in einem gewissen Verhältnisse stehn müssen; denn die leichtesten unter ihnen haben zugleich die kleinsten Atomgewichte. Es wird jedoch am angemessensten seyn, diese Untersuchung nicht isolirt für die Gase anzustellen,

sondern mit der über die sonstigen Körper zu verbinden, worauf ich daher verweise (§. 445 ff.).

b) Specifische Wärme der tropfbaren Flüssigkeiten.

415) Wegen der weit größeren Massen, welche bei tropfbaren Flüssigkeiten in einem kleineren Raume vereinigt sind, ist es viel leichter, die specifischen Wärmecapacitäten derselben aufzufinden. Die Aufgabe kam daher schon vor sehr langer Zeit zur Untersuchung, und die Auffindung der ungleichen Wärmecapacitäten der Körper trug hauptsächlich dazu bei, richtigeren Begriffen über das eigentliche Wesen der Wärme Eingang zu verschaffen. Man bediente sich hierbei allgemein der Methode der Mischungen, und es ist bereits oben (§. 376 und 377) erwähnt worden, auf welche Weise diese durch Black und Irvine, durch Wilke und insbesondere durch Crawford in Anwendung gebracht wurde. Hier wird also nur noch erforderlich seyn, die von ihnen gefundenen Bestimmungen zusammenzustellen und mit einander zu vergleichen, was aber der Kürze wegen in der unten angehängten Tabelle geschehn kann. Bemerkt werden muſs jedoch, daſs die Versuche, namentlich von Crawford, sich keineswegs auf tropfbare Flüssigkeiten beschränkten, sondern daſs er hauptsächlich auch feste Körper, ja sogar auch Gase mit in den Kreis derselben zog (§. 383). Während Crawford seine vielen Arbeiten hierüber fortsetzte, beschäftigte sich auch Kirwan mit dieser Aufgabe, und theilte die gefundenen Bestimmungen seinem Freunde Magellan mit, durch den sie bekannt wurden[1]. Die Summe der bekannten Bestimmungen, die hauptsächlich zur Unterstützung der damals neuen Theorie der Wärme dienen sollten, wurde nicht unbedeutend vermehrt durch Gadolin[2], dessen Bemühungen mit denen von Lavoisier und Laplace der Zeit nach zusammenfallen. Letztere bedienten sich dabei ihres Calorimeters[3] (§. 377), welches unter den Händen dieser

1 Essay sur la nouvelle théorie du feu élémentaire et de la chaleur des corps. Lond. 1780. 4.

2 Dissertatio chemico-physica de theoria caloris corporum specifici. Aboe. 1784. 4.

3 Mém. de l'acad. de Paris. 1780. p. 355. Lavoisier's physisch

durch anhaltende Uebung sehr geschickten Experimentatoren vorzüglich genaue Resultate gab, bald nachher aber durch RUMFORD gegen das Wassercalorimeter vertauscht wurde. Mit diesem Apparate bestimmten sie nicht blofs die specifische Wärme der Salpetersäure = 0,66139, wie oben angegeben worden, sondern auch des Olivenöls = 0,30961 und der Schwefelsäure = 0,33460. Schon vorher hatte JOH. TOB. MAYER die Methode der Abkühlung empfohlen, die er selbst zur Auffindung der Wärmecapacitäten des Leinöls und des Essigs, verglichen mit der des Wassers, so wie auch der einiger Holzarten benutzte, die aber durch LESLIE und DALTON in gröfserer Ausdehnung angewandt wurde[1]. Es würde indefs einen zu grofsen Zeitaufwand erfordern, alle diese Bemühungen einzeln zu beschreiben, und es wird daher genügen, die erhaltenen Bestimmungen in der am Ende angehängten Tabelle mit aufzuführen. Blofs die wichtigern unter den späteren Bemühungen mögen hier etwas näher betrachtet werden.

416) DALTON[2] hatte fast ausschliefslich nur CRAWFORD's Leistungen vor Augen, obgleich ihm auch die Bemühungen LAVOISIER's und LAPLACE's bekannt waren; inzwischen verliefs er die Methode jenes seines Landsmannes, und wählte die von J. T. MAYER vorgeschlagene, welche unmittelbar vorher auch LESLIE angewandt, und damit die specifische Wärme von fünf Flüssigkeiten bestimmt hatte[3]. DALTON nahm ein eiförmiges, dünnes, gläsernes Gefäfs, welches etwa 8 Unzen Wasser fafste, verschlofs dasselbe mit einem Korke, durch welchen die Röhre eines empfindlichen Thermometers so gesteckt war, dafs dessen Kugel ungefähr sich im Mittelpuncte des Gefäfses befand. In die Röhre des Thermometers waren zwei feine Zeichen mit einer Feile geritzt, das eine bei 33°,34, das andere bei 27°,78 C., so dafs also das Intervall genau 10° F. ausmachte; die Temperatur des Zimmers betrug 11°,11 C. Das Gefäfs wurde mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und etwas über 33°,34 C. erwärmt, dann im Zimmer aufge-

---

chemische Schriften. Ueb. von WEIGEL. Greifsw. 1785. Th. III. S. 325.

1 Die Nachweisungen hierüber befinden sich oben in §. 382.

2 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. D. Ueb. Berl. 1812. S. 67.

3 Diese befinden sich in der unten angehängten Tabelle.

hängt und die Zeit genau gemessen, während welcher das darin eingesenkte Thermometer vom oberen Feilstriche bis zum unteren herabsank; ein in einiger Entfernung frei hängendes Thermometer zeigte die Temperatur des Zimmers[1]. Auf einen selten vorkommenden Unterschied der Wärme der Umgebung wurde sorgfältig Rücksicht genommen und zugleich der Einfluſs des Gefäſses corrigirt. Im Mittel aus vielen Versuchen, bei denen die Unterschiede der Erkaltungszeiten für dieselben Flüssigkeiten nicht mehr als höchsens 0,5 Minute betrugen, gingen folgende Erkaltungszeiten und die daraus berechneten specifischen Wärmecapacitäten hervor:

Flüssigkeiten	spec. Gewichte	Erkaltungszeiten	specifische Wärme
Wasser	1,000	29,00 Min.	1,000
Milch	1,026	29,00 —	0,98
Auflösung von kohlensaurem Kali .	1,300	28,50 —	0,75
— — — — Ammonium	1,035	28,50 —	0,95
Ammoniumsolution	0,948	28,50 —	1,03
gemeiner Weinessig	1,020	27,50 —	0,92
Kochsalzsolution (88 W. 22 S.) .	1,197	27,00 —	0,78
Zuckersolution (6 W. 4 Z.) . . .	1,170	26,25 —	0,77
Salpetersäure	1,200	26,25 —	0,76
Salpetersäure	1,300	25,50 —	0,68
Salpetersäure	1,360	25,00 —	0,63
Schwefelsäurehydrat	1,335	23,50 —	0,52
Salzsäure	1,530	21,00 —	0,60
Essigsäure (aus essigs. Kupfer) . .	1,056	21,00 —	0,66
Schwefelsäure	1,844	19,50 —	0,35
Alkohol	0,850	19,50 —	0,76
Alkohol	0,817	17,50 —	0,70
Schwefeläther	0,760	15,50 —	0,66
Wallrathöl	0,870	14,00 —	0,52

Die Bestimmung der specifischen Wärmecapacität des Quecksilbers durch Dalton ist nach seiner eigenen Angabe zu wenig genau, als daſs man mit Sicherheit darauf bauen könnte. Durch Mischung mit Wasser und durch die Zeit der Abkühlung bei Anwendung eines kleineren Gefäſses fand er für glei-

1 Die Art der Versuche ist genau dieselbe, als der oben §. 257 erwähnten.

che Volumina das Verhältnifs 1:0,55. Wird diese Bestimmung für das specifische Gewicht = 14 in runder Zahl angenommen reducirt, so gäbe dieses das Verhältnifs 1:0,0393, statt dafs Lavoisier und Laplace mittelst des Eiscalorimeters 1:0,029 fanden (§. 378).

Aus den oben (§. 260) mitgetheilten zahlreichen Versuchen von Boeckmann über die Erkaltungszeiten verschiedener, in einer Glaskugel eingeschlossener Flüssigkeiten liefsen sich auf gleiche Weise die specifischen Wärmecapacitäten derselben berechnen, allein hierzu sind die Einzelnheiten, aus denen die erforderlichen Correctionen entnommen werden müfsten, nicht genau genug angegeben, und die Wissenschaft würde daher durch solche nicht hinlänglich sichere Bestimmungen keinen bedeutenden Vortheil erhalten.

417) Unter den zahlreichen Untersuchungen Rumford's über das Verhalten der Wärme finden sich auch einige, die der Bestimmung der Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten gewidmet sind[1]. Er wandte hierbei die Methode der Mischungen an, indem er sich zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeiten ein kleines Fläschchen aus dünnem Kupferblech verfertigen liefs, welches die Gestalt eines doppelten Kreuzes hatte, um dem Wasser, in welches dasselbe eingesenkt wurde, eine gröfsere Oberfläche darzubieten. Die Oeffnung desselben verschlofs ein langer Kork, an welchem es angefafst wurde, ohne von der Hand eine mefsbare Wärmemenge aufzunehmen. Das Wasser, in welches dieses Gefäfs eingetaucht ward, befand sich in einem cylindrischen Becher von dünnem Kupferblech, welcher in einem etwas gröfseren Cylinder stand, und der Zwischenraum zwischen beiden war mit Flaumfedern der Eidergans gefüllt, um den Einflufs der äufseren Wärme abzuhalten. Beide Gefäfse, sowohl dasjenige, welches eingetaucht wurde, als auch dasjenige, worin sich das zum Eintauchen bestimmte Wasser befand, waren von dünnem Metalle; ersteres wog ohne den Kork nur 76 Gramm und letzteres, ein 2 Zoll weiter und 4,75 Zoll tiefer Cylinder, 74,65 Gramm, beider Capacitäten, auf Wasser reducirt, wurden mit in Rechnung gebracht. Um dem Fläschchen mit der eingeschlossenen Flüssigkeit eine bestimmte Temperatur zu geben, hielt Rumford dasselbe eine geraume

1 G. XLV. 317.

Zeit in eine große Masse Wasser, welches die Temperatur des Zimmers hatte, worin es sich befand, und in welches während dieser Zeit die Sonne nicht scheinen durfte, um seine Temperatur nicht zu erhöhn, tauchte es dann in den mit Wasser gefüllten Cylinder, und maſs die erzeugte Veränderung der Temperatur gerade dann, wenn diese ihr Maximum erreicht hatte und wieder rückwärts ging. Dabei war vorläufig der Gehalt des cylindrischen Gefäſses und seines Thermometers zu 24,3 Gramm und der des eingetauchten Fläschchens für sich genommen zu 8,36 Gramm Wasser bestimmt. Um die Art der Versuche genauer zu übersehn, möge einer derselben, der mit gereinigtem Rübsamenöl, beschrieben werden. Der Cylinder enthielt 180 Gramm Wasser von der Temperatur des Zimmers $= 59^{\circ},5$ F.; in der Flasche waren 82,55 Gramm gereinigtes Oel enthalten, und es nahm die Temperatur des Wassers in einem groſsen Eimer an, welche $44^{\circ},5$ F. betrug. Etwa 3 bis 4 Minuten nach dem Einsenken zeigte das Thermometer in dem Wasser des Cylinders $56^{\circ},75$ F., und stieg erst wieder, nachdem es geraume Zeit auf diesem Puncte still gestanden hatte; das Wasser des Cylinders war also um $2^{\circ},25$ F. erkältet. Das Wasser des Cylinders mit Einschluſs der Hülle und des Thermometers betrug zusammen 204,3 Gramm, und durch das Eintauchen der Flasche war also so viel Wärme absorbirt worden, als hinreicht, $2,75 \times 204,3 = 561,83$ Gramm Wasser um 1° F. zu erwärmen. Dagegen hatte die eingetauchte Flasche $12^{\circ},25$ F. Wärme gewonnen. Diese Flasche an sich, ohne das Oel, aber mit Einschluſs des an ihr hängen gebliebenen Wassers betrug nach der specifischen Wärmecapacität reducirt so viel als 9,4 Gramm Wasser, folglich waren $12,25 \times 9,4 = 115,14$ Gramm Wasser um 1° F. erwärmt, und man erhält $561,83 - 115,14 = 446,68$ Gramm Wasser um 1° F. erhöhet als das Maſs der specifischen Wärme des in dem Fläschchen befindlichen Rübsamenöls. Sofern also die in der Flasche befindlichen 82,55 Gramm Oels um $12^{\circ},25$ F. erwärmt waren, würden sie $\frac{82,55}{12,25} = 36,464$ Gramm Wassers um 1° F. erhöhen, und wir erhalten also, die specifische Wärmecapacität des Wassers $= 1$ gesetzt, für Rübsamenöl

$$\frac{36,464}{82,55} = 0,44172.$$

Durch mehrmals wiederholte Versuche erhielt RUMFORD die specifischen Wärmen folgender Flüssigkeiten:

Wasser	1,00000	Alkohol (spec. Gew. 0,818)	0,54993
Rübsamenöl . .	0,45192	Spiritus (spec. Gew. 0,853)	0,58078
Olivenöl . . .	0,43849	Schwefeläther (spec. Gewicht 0,729)	0,54329.
Naphtha	0,41519		
Terpentinöl . .	0,33856		

418) Einen kleinen Beitrag zur Kenntnifs der specifischen Wärmecapacitäten hat J. A. BISCHOF[1] geliefert. Dieser mischte gleiche Gewichte Salzsoole von 1,120 spec. Gewichte und 2° Temperatur mit Wasser von 41°, und fand die Wärme der Mischung = 22,5. Die Soole hatte also 20°,5 Wärme gewonnen, das Wasser dagegen nur 18°,5 verloren, woraus die Wärmecapacität der Soole zu der des Wassers = 0,902439 : 1 folgt. In einem zweiten Versuche betrug die Wärme der Soole 32°, die des Wassers 2°,5 und die der Mischung 16°, wonach also die Soole 16° verlor, das Wasser aber 13°,5 erhielt und also die Wärmecapacität der Soole zum Wasser = 0,84375 : 1 abgeleitet wird. Nach BISCHOF ergiebt sich hieraus, dafs die specifische Wärmecapacität der Salzsoole geringer sey, als die des Wassers, der Unterschied aber mit der Verdünnung der Soole abnehme. Diese Folgerung ist nicht zu bezweifeln, allein der bedeutende Unterschied beider gefundenen Resultate wird hierdurch nicht erklärt, denn in beiden Versuchen war der Gehalt oder die Löthigkeit der Soole gleich. Inzwischen können die Versuche überhaupt keine Grundlage eines genügenden Resultates abgeben, weil das Gefäfs nicht mit in die Messung aufgenommen worden ist, und hieraus läfst sich schliefsen, dafs überhaupt die für so feine Versuche unerläfsliche Sorgfalt nicht angewandt wurde. Einige wenige eigene Bestimmungen der Wärmecapacitäten des Alkohols und des Schwefeläthers hat DESPRETZ[2] mitgetheilt; sie sind in der angehängten Tabelle aufgenommen worden.

419) Bei seinen Untersuchungen der Salzsäure bestimmte

1 G. XXXV. 350.

2 Traité élément. de Phys. Par. 1825. p. 167.

Ure[1] auch deren specifische Wärmecapacität sowohl im concentrirten als auch im verdünnten Zustande. Zu diesem Ende füllte er einen Kolben von dünnem Glase, welcher 1800 Grains Wasser faſste, zuerst mit dieser Flüssigkeit, dann mit verdünnter Säure, und zuletzt mit concentrirter Säure, erhitzte ihn jedesmal bis zu der nämlichen Temperatur, die durch ein feines eingesenktes Thermometer gemessen wurde, hing ihn in einem groſsen Zimmer von gleich bleibender Wärme auf, und beobachtete die Zeiten des Erkaltens bis zu der nämlichen Temperatur nach einer genauen Uhr. Dieses erfolgte

bei Wasser von 51°,11 bis 18°,89	in	122 Minuten
bei verdünnter Säure — — — —	—	102 —
bei concentrirter Säure — — — —	—	88 —

Werden dann die enthaltenen Massen nach den specifischen Gewichten, die für verdünnte Säure = 1,152 und für concentrirte = 1,192 waren, auf Wasser reducirt[2], und berücksichtigt man ferner, daſs der Glaskolben nach seiner specifischen Wärmecapacität 150 Grains Wasser gleich kam, so gehen hieraus folgende Gröſsen hervor:

$$\text{Wasser} \ldots \frac{122' \times 100}{1800+150} = 62{,}6 \text{ Minuten}$$

$$\text{verdünnte Säure } \frac{102' \times 100}{2020+200} = 46{,}0 \text{ Minuten}$$

$$\text{concentrirte Säure } \frac{88' \times 100}{2154+250} = 36{,}6 \text{ Minuten.}$$

Aus diesen Resultaten folgert Ure, daſs, die specifische Wärmecapacität des Wassers als Einheit angenommen, die der verdünnten Säure = 0,735 und die der concentrirten = 0,586 sey, welche Gröſsen die Erfahrung einfach gebe. Diese Bestimmungen lassen übrigens noch folgende Betrachtung zu. Die verdünnte Säure bestand aus 6 Theilen concentrirter Säure und 4 Theilen Wasser. Nehmen wir nun an, daſs die specifische

1 Annals of Philos. 1817. T. X. p. 273. Vergl. Schweigger's Journ. XXVIII. 355.

2 Nach den angegebenen spec. Gewichten wäre 1800 × 1,152 = 2074 und 1800 × 1,192 = 2146. Warum die Zahlen im Texte hiervon abweichen, vermag ich nicht aufzufinden.

Wärmecapacität der Mischung die mittlere beider Bestandtheile sey, so gäbe dieses

$$\frac{6\times 0{,}586 + 4\times 1{,}00}{10} = 0{,}7516,$$

nur wenig gröfser, als die durch den Versuch erhaltene. Uebrigens stimmt dieses Resultat mit der Theorie überein. Weil nämlich durch Mischung der Salzsäure mit Wasser Wärme entbunden wird, so scheint dieses zu der Folgerung zu führen, dafs die specifische Wärmecapacität der vereinten Substanzen kleiner sey, als die Summe der ihren Bestandtheilen zugehörigen.

420) Unter die neuesten Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten gehören die von Delarive und Marcet[1], wobei sie sich für die von ihnen auch für die Gase als die vorzüglichere gewählte Methode der Abkühlung eines hohlen Cylinders von Platin, 4,775 Gramm wiegend, entschieden. War derselbe gefüllt und die Thermometerkugel in seine Mitte herabgesenkt, so konnte er hermetisch verschlossen werden, um das Entweichen von Dämpfen selbst im Vacuum zu vermeiden. Zuerst wurde der Cylinder mit Wasser gefüllt, um die übrigen Flüssigkeiten hiermit zu vergleichen; er fafste hiervon bei 10° Wärme 4,327 Gramm. Wird dann das Gefäfs auf Wasser reducirt, die specifische Wärmecapacität des Platins = 0,0314 angenommen, so giebt $4{,}775\times 0{,}0314 = 0{,}15$ die zur Berechnung erforderliche Gröfse. Die specifische Wärme des Wassers ist aber = 1, und diesemnach ergeben sich die numerischen Werthe in der (§. 437) näher erläuterten Formel

$$c = \frac{(MC + p'c')\frac{t}{t'} - MC}{P},$$

worin c die gesuchte specifische Wärme bezeichnet. Ist die specifische Wärme des Wassers = 1 und wird die des Platins = 0,0314 angenommen, so erhält man in Zahlen:

$$c = \frac{4{,}477\times\frac{t}{t'} - 0{,}15}{P}.$$

1 S. die §. 399 angegebenen Quellen.

Auf diese Weise wurden die specifischen Wärmecapacitäten von 10 Flüssigkeiten gefunden, die in der angehängten Tabelle aufgenommen sind.

421) Das bei den Gasen aufgefundene eigenthümliche Verhalten, wonach ihre specifische Wärmecapacität *mit wachsenden Temperaturen zunimmt* (§. 413), hat man auch unter den tropfbaren Flüssigkeiten, mindestens beim Wasser, untersucht. Unter den früheren Bemühungen um die Beantwortung dieser Frage sind die von DE LUC[1] am bekanntesten geworden, die gröfste Aufmerksamkeit aber verdienen die von FLAUGERGUES[2], dessen Versuche mit grofser Sorgfalt angestellt worden sind, jedoch nicht mit einer solchen, welche zur Vermeidung aller mit dieser Aufgabe verbundenen Schwierigkeiten genügte. Beide Gelehrte gelangten zu dem Resultate, dafs die specifische Wärmecapacität des kalten Wassers gröfser sey, als die des heifsen, denn die durch Mischung beider erhaltene Temperatur lag unter dem Mittel, welches der halben Summe beider vereinter Theile zugehörte. DALTON[3] hat diese Frage namentlich in Beziehung auf das Wasser ausführlich erörtert, nur ist er dabei, wie auch leicht in andern Fällen, sehr dreist in seinen theoretischen Schlüssen. Es genügt ihm nicht, dabei stehn zu bleiben, was CRAWFORD und andere Gelehrte vor ihm ausgesprochen hatten, dafs die Capacitäten der Körper sich bei verschiedenen Temperaturen beinahe gleich blieben, vielmehr war er geneigt, einer anderen Aeufserung jenes Gelehrten beizutreten, wonach aus dessen Versuchen mit verdünnter Schwefelsäure und mit andern Flüssigkeiten folgen sollte, dafs die Capacitäten der Körper mit der Zunahme der Temperatur wachsen. CRAWFORD hatte in Folge seiner Versuche, die *Richtigkeit der Thermometer* durch Mischung gleicher Quantitäten Wassers von ungleichen Temperaturen zu messen, bemerkt, dafs diese Resultate, falls sie auch bejahend ausfielen, das Gleichbleiben der Wärmecapacitäten bei dieser Flüssigkeit nicht zu beweisen vermöchten, denn es sey auch denkbar, dafs die Wärmecapacität des Quecksilbers auf gleiche Weise als die des Wassers zu-

---

1 Vergl. Art. *Thermometer.* Bd. VIII. S. 844.

2 Journ. de Phys. T. LXXVII. p. 283.

3 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Th. I. S. 58.

nehme, wonach dann das Mittel aus den Temperaturen beider vereinter Theile sich ebenso in dem gemischten Wasser, als am Thermometer zeigen müsse. Inzwischen meint DALTON, dafs namentlich in Beziehung auf Wasser auch dieser Grund nicht ausreiche, weil dessen Wärmecapacität in einem weit höheren Grade als die des Quecksilbers wachse. Als Gründe hierfür stellt er auf, dafs erstens das Volumen von einem Mafs heifsen und einem Mafs kalten Wassers kleiner sey, als die halbe Summe beider Volumina[1], mithin Verdichtung statt finde, bei Verdichtungen aber allezeit Wärme ausgeschieden werde. Zweitens aber verändere ein Körper stets seine Capacität durch Veränderung seines Aggregatzustandes, und zwar so, dafs sie mit der Temperatur wachse, wie sich dieses beim Uebergange von Eis zu Wasser und zu Dämpfen zeige. Letzteres ist nicht ganz richtig, denn nach DELAROCHE und BÉRARD ist die Wärmecapacität des Wasserdampfes geringer, als die des Wassers. Aus diesen Gründen ist DALTON geneigt, die Zunahme der Capacitäten den Zunahmen des Volumens proportional zu setzen, wonach sie für Wasser beim Siedepuncte viermal so grofs, als bei der mittleren Temperatur sey. Um die Sache genauer zu prüfen, stellte er aufser seinen früheren Versuchen in Edinburg neue an, die aber gar keine Beurtheilung zulassen, weil keiner der zahlreichen bedingenden Einflüsse berücksichtigt wurde.

60	Unzen Wasser von	212° F.	und 2 Unzen Eis (?)	von	32° F.	gaben	200°,5
60	—	130°	—	—	32	—	122,0
60	—	50°	—	—	32	—	45,3

Im ersten Versuche verloren von 30 Th. Wasser jeder 11°,5 F., also zusammen 345°, und 1 Th. Wasser von 32° gewann 168°,5; der Unterschied 345 — 168,5 = 176,5 drückt die Anzahl der Grade aus, welche in das Eis eindringen, um es in Wasser von 32° zu verwandeln[2]. Die beiden andern Versuche, auf gleiche Weise berechnet, geben 150° und 128°, und da diese drei Zahlen nahe in dem Verhältnifs 5:6:7 stehen, so

1 Dieses ist eine nothwendige Folge der mit den Temperaturen zunehmenden Ausdehnung.

2 Was hier das Eis soll, ist nicht füglich zu entziffern; auch oben steht 2 Unzen Eis, was aber eiskaltes Wasser zu bezeichnen scheint.

folgt, dafs ebenso viel Wärme erfordert werde, um Wasser von niedriger Temperatur um 5 Grade, als um Wasser von mittlerer um 6 und von hoher um 7 Grade zu erheben. DALTON scheint nicht beachtet zu haben, dafs diese Folgerung mit seinen theoretischen Schlüssen im geraden Widerspruche steht, denn hiernach müfsten die Wärmecapacitäten in dem angegebenen Verhältnifs abnehmen. Eine mit wachsender Temperatur abnehmende Wärmecapacität des Wassers und einiger anderen Flüssigkeiten hat auch URE[1] aus seinen Versuchen gefunden. Mit Anwendung des (§. 419) beschriebenen Verfahrens liefs er in dem gläsernen Kolben folgende Flüssigkeiten erkalten, und beobachtete die hierzu erforderlichen Zeiten. Es erkaltete

Wasser . . .	von	98°,89	C. bis	65°,56	in	21,50	Minuten
	—	65,56	— —	32,22	—	57,00	—
Schwefelsäure .	—	98,89	— —	65,56	—	17,00	—
	—	65,56	— —	32,22	—	39,33	—
Spermacetiöl . .	—	98,89	— —	65,56	—	12,75	—
	—	65,56	— —	32,22	—	29,00	—
Terpentinöl . .	—	98,89	— —	65,56	—	11,25	—
	—	65,56	— —	32,22	—	25,83	—

Werden diese Resultate auf die oben angegebene Weise berechnet, so erhält man für

$$\text{Wasser}\ \frac{21',5}{1,950} = 11',00 \text{ und } \frac{57'}{1,950} = 29',2,$$

$$\text{Schwefelsäure}\ \frac{17'}{3,695} = 4',6 \text{ und } \frac{39',33}{3,695} = 10',64,$$

$$\text{Spermacetiöl}\ \frac{12',75}{1,940} = 6',57 \text{ und } \frac{29'}{1,940} = 15',00,$$

$$\text{Terpentinöl}\ \frac{11',25}{1,875} = 6',0 \text{ und } \frac{25',83}{1,875} = 13',8.$$

Hieraus die Wärmecapacitäten ableitend, die des Wassers als Einheit genommen, findet URE

1 Annals of Phil. 1817. T. X. p. 278. Vergl. HERSCHEL in Encyclop. Metrop. Art. *Heat*. p. 314.

	höhere Temperaturen	niedere Temperaturen
Wasser	1,000	1,000
Schwefelsäure	0,418	0,364
Spermacetiöl	0,597	0,513
Terpentinöl	0,545	0,472

und schliefst hieraus, dafs zwar die Verhältnisse bei der Schwefelsäure und den beiden Oelen in beiden Reihen zu einander proportional sind, dafs aber die specifische Wärme des Wassers, nach seinem Verhältnisse zu den drei andern Flüssigkeiten, in niedrigeren Temperaturen weit kleiner seyn müsse, als in höheren. Giebt man sich die Mühe, dieses Verhältnifs aus den gegebenen Bestimmungen zu berechnen, und nimmt man hierzu die mittlere Temperatur aus beiden Reihen, so würde sich die Wärmecapacität des Wassers bei 49° C. zu der bei 82° C. nach der Schwefelsäure wie 1:0,8708, nach Spermacetiöl wie 1:0,8593, nach Terpentinöl wie 1:0,8650, also im Mittel wie 1:0,8650 verhalten.

422) Da gerade das Gegentheil bei den Gasen und auch bei festen Körpern statt findet, so wird dadurch mindestens wahrscheinlich, dafs dieses Resultat unrichtig sey, da es auch aufserdem mit theoretischen Gründen nicht wohl im Einklang steht. Es was daher ein verdienstliches Unternehmen, dafs F. E. Neumann[1] diese Frage durch neue Versuche zu beantworten unternahm, welche er mit Anwendung aller, den neuesten Fortschritten der Wissenschaft angemessener Regeln der feineren Kunst des Experimentirens anstellte. Das kalte Wasser befand sich in einem kupfernen Gefäfse, dessen Masse nach gehöriger Reduction für seine specifische Wärmecapacität dem Wasser hinzuaddirt wurde; das durch Wasserdämpfe erhitzte Wasser flofs durch einen Hahn zum kalten, und nach gehörigem Umrühren zeigte ein Thermometer das erzeugte Maximum der Temperatur der Mischung. Dieses Thermometer war nicht blofs für das Caliber corrigirt[2], sondern auch mit einer Loupe und einem Nonius versehn, so dafs 0,01 der Scale abgelesen werden konnte. Mit Uebergehung des sehr ausführlichen Calcüls wird es genügen, nur die aus drei Versuchsreihen erhaltenen

1 Poggendorff's Ann. XXIII. 40.
2 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. VIII. S. 940 ff.

Resultate mitzutheilen. Hiernach war das Verhältniſs der specifischen Wärme des kalten Wassers von der mittleren, bei den Versuchen erhaltenen, also von 27°,5, zu der des heiſsen von 100° C. nach der ersten Versuchsreihe = 1 — 0,00038, nach der zweiten = 1 — 0,0136 und nach der dritten = 1 — 0,00731. Werden diese Gröſsen für die Abkühlung corrigirt, welche das heiſse Wasser während des Herabströmens durch ungleiche Höhen erlitt, so ergiebt sich im Mittel die specifische Wärme des siedenden Wassers zu der des Wassers von 27°,5 Temperatur wie 1,0127 zu 1 und die des siedenden Wassers zu der des Wassers von 0° Wärme wie 1,0176 zu 1. Neumann bemerkt hierbei, daſs diese Gröſse, verglichen mit der Zunahme der Wärmecapacitäten fester Körper für 100° C., wie diese durch Dulong gefunden worden ist, als sehr gering erscheint, denn sie beträgt nur etwa die Hälfte des kleinsten und nur etwa ein Drittel des gröſsten von diesem gefundenen Werthes. Bei dem einzigen zusammengesetzten Körper, dem Glase, beträgt diese Zunahme als Minimum $\frac{1}{28}$, beim Wasser dagegen $\frac{1}{57}$. Aus diesen Versuchen geht nach Neumann unbezweifelt hervor, daſs die Wärmecapacität des Wassers beim Siedepuncte gröſser sey, als beim Gefrierpuncte; zur genauen Bestimmung der Gröſse dieses Unterschiedes aber (glaubt er) seyen noch weitere Beobachtungen erforderlich, diese dürften aber mit groſsen Schwierigkeiten verknüpft seyn, sollten sie den vorliegenden an Genauigkeit gleich kommen oder gar sie übertreffen.

423) Wirklich aber sind seitdem Versuche angestellt worden, welche auf jeden Fall als ausnehmend genau gelten dürfen, und zwar durch Regnault[1]. Das ausführlich von diesem beschriebene Verfahren, die specifischen Wärmecapacitäten verschiedener fester Körper zu bestimmen, wird später (§. 427) mitgetheilt werden, hier aber handelt es sich bloſs um die bei verschiedenen Temperaturen ungleiche Capacität des Wassers, welche er hauptsächlich deswegen unternahm, weil er dadurch die Genauigkeit des von ihm angewandten Verfahrens prüfen wollte. Nach den Resultaten aus zwei Versuchen ergab sich die specifische Wärme des Wassers, wenn sie für die Temperatur zwischen 0° und 20° = 1 gesetzt wird, für

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 1. Poggendorff's Ann. LI. 1 u. 213.

97°,63 = 1,00709 und für 98°,11 = 1,00890, woraus die Zunahme der Wärmecapacität dieser Flüssigkeit gleichfalls evident hervorgeht. Das Mittel aus diesen Werthen, nämlich 1,008, ist allerdings kleiner, als die durch Neumann gefundene Gröfse; dürfte man aber annehmen, dafs diese Bestimmug für den Unterschied zwischen 20° und 98° C. gelte, so würde für den Unterschied zwischen 0° und 100° das Verhältnifs 1 : 1,00976 herauskommen.

Die Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten tropfbarer Flüssigkeiten, wie sie von den verschiedenen Gelehrten gefunden wurden, sind in der unten angehängten allgemeinen Tabelle enthalten.

c) Specifische Wärmecapacität der festen Körper.

424) Die Bestimmung der specifischen Wärme fester Körper ist mit weit geringeren Schwierigkeiten verbunden, als die bisher beschriebenen Versuche für tropfbare Flüssigkeiten und insbesondere für die Gase unumgänglich erforderten, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs dabei die Methode der Mischungen schon deswegen die geeignetste sey, weil die specifischen Wärmecapacitäten, so wie die specifischen Gewichte, auf Wasser als Einheit reducirt zu werden pflegen. Versuche mit festen Körpern wurden daher in grofser Zahl angestellt, sobald die Lehre von der specifischen Wärmecapacität der Körper aus den Erscheinungen des schmelzenden Eises und der ungleichen Temperatur vereinter heterogener Flüssigkeiten Eingang gefunden hatte. Auch in Beziehung auf feste Körper dürfen wir uns einer Mittheilung der unter einander rücksichtlich der angewandten Methode sehr nahe übereinstimmenden Bemühungen der älteren Physiker Black, Irvine, Wilke, Crawford, Kirwan, Gadolin und Anderer überheben. An diese reihen sich diejenigen, welche Lavoisier und Laplace mit dem Eiscalorimeter anstellten, die wegen ihrer hohen Genauigkeit zugleich auch dazu dienen können, die Resultate aus den früheren Versuchen zu controliren[1]. Unter andern er-

1 Einen kleinen Beitrag lieferte Tardy de la Brossy, s. Bibl. brit. T. XXXVIII. p. 201.

hitzte Wilke[1] ein Stück Glas bis 86° C., tauchte es in Wasser von 0°, und fand die erhöhete Temperatur = 12°,75. Aus solchen wiederholten, wenig abweichende Resultate gebenden Versuchen fand er die specifische Wärmecapacität des Glases = 0,1877, Lavoisier und Laplace dagegen fanden mittelst ihres Eiscalorimeters diese Gröfse = 0,1929, was nur unbedeutend abweicht. Die übrigen, von diesen Gelehrten aufgefundenen Bestimmungen sind in der unten angehängten Tabelle enthalten.

425) Inzwischen ist dieses Gebiet durch die Bemühungen neuerer Gelehrten nicht unbedeutend erweitert worden, indem sie theils die älteren Bestimmungen verbesserten, theils neue hinzufügten, wovon wir das Wesentlichste hier mittheilen wollen. Joh. Tob. Mayer[2] bestimmte vermittelst seiner Methode des Erkaltens die specifischen Wärmecapacitäten einiger gut ausgetrockneter Hölzer, namentlich des Forlenholzes = 0,600; des Lindenholzes = 0,670; des Ulmenholzes = 0,450 und des Birnbaumholzes = 0,50. Dalton[3] blieb der älteren Methode der Mischungen getreu, und erhielt hierdurch Werthe, die von den durch Wilke und Crawford gefundenen nur wenig abweichen. Er bediente sich dazu eines kleinen gläsernen Gefäfses, bestimmte dessen Wärmecapacität, und gofs dann so viel Wasser hinein, dafs das Ganze ein Gewicht Wasser gab, welches dem der eingetauchten Körper gerade gleich kam. Die zu untersuchenden Körper erhitzte er bis 100° C., senkte sie dann schnell in das Wasser und nahm an, dafs die specifische Wärmecapacität gleicher Gewichte des festen Körpers und des Wassers sich umgekehrt verhalte, wie die Veränderungen der Temperaturen, die sie erfahren. Auf diese Weise erhielt er viele Bestimmungen, die in der unten angehängten Tabelle mit aufgenommen worden sind. Der Methode der Abkühlung bediente sich auch Despretz[4], um die specifischen Wärmecapacitäten einiger Metalle aufzufinden, indem er gleich schwere Kugeln derselben mit einer Höhlung versah, in diese die Kugel eines

---

1 Schwed. Abhandl. für d. Jahr 1781.

2 V. Crell's Ann. 1798. St. 6.

3 Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft. Th. I. S. 69.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. VI. p. 184.

empfindlichen Thermometers senkte, den übrigen Raum mit Feilstaub des nämlichen Metalles füllte, die Kugeln dann in unbewegter Luft in einem grofsen Zimmer an Seidenfäden aufhing, und die ungleichen Zeiten ihres Erkaltens beobachtete. Um hierbei die Wirkungen der mehr oder minder bewegten strahlenden Oberfläche unschädlich zu machen, überzog er sie sämmtlich auf gleiche Weise mit dem nämlichen Firnifs, erhitzte sie durch einen heifsen Luftstrom 15° bis 20° über denjenigen Punct, wobei die Beobachtung anfangen sollte, und las die Temperaturen an dem Thermometer ab, dessen Kugel in die Mitte derselben hinabgesenkt war, an dessen Scale noch 16tel Grade geschätzt werden konnten, um den Stand desselben mit einem andern zu vergleichen, welches in 3 Fufs Entfernung hing, und dessen Scale noch 30stel eines Grades zu unterscheiden gestattete. Die Rechnung, wodurch aus diesen Beobachtungen die specifische Wärme der verschiedenen Metalle gefunden wurde, beruht auf folgenden Principien. Heifst der Ueberschufs der Temperatur des Körpers über die der Umgebung u; die Zeit des Erkaltens von dem nämlichen Puncte bis zu einem andern, welche beide Puncte bei allen untersuchten Körpern gleich waren, t; die Leitungsfähigkeit, bestimmt aus der Quantität der Wärme, welche die Einheit der Oberfläche, auf der Temperatur des Siedepunctes des Wassers erhalten, während der Einheit der Zeit in der umgebenden Luft, auf der Temperatur des Gefrierpunctes bleibend erhalten, verlieren würde, h; das Volumen des Körpers v; seine Dichtigkeit d; seine specifische Wärme c; die Basis der hyperbolischen Logarithmen e; so ist:

$$u = e^{-\frac{hts}{cvd}},$$

und wenn man $\frac{rs}{3} = v$ setzt,

$$u = e^{-\frac{3ht}{cdr}}.$$

Für eine andere Zeit $= t'$ hat man daher

$$u' = e^{-\frac{3ht'}{cdr}},$$

folglich $\text{Log.}\, u - \text{Log.}\, u' = \frac{3h(t'-t)\,\text{Log.}\, e}{cdr},$

und hieraus:

$$c = \frac{3h \,\text{Log.}\, e\,(t' - t)}{(\text{Log.}\, u - \text{Log.}\, u')\,d\,r}.$$

Sind dann ferner u und u', so wie auch h und r in den Versuchen mit verschiedenen Körpern gleich, so hat man zur Bestimmung ihrer relativen Wärmecapacitäten

$$c = \frac{t' - t}{d},$$

welches mit der Formel von J. T. Mayer (§. 382) übereinkommt. Die auf diese Weise gefundenen Bestimmungen sind zwar unter sich, aber, da sie nicht auf Wasser reducirt sind, nicht mit denen von Andern gefundenen vergleichbar; da aber Despretz selbst sie mit einigen von Andern gefundenen vergleicht, so habe ich die für Zinn von Lavoisier und Laplace gefundene Gröfse gewählt, um diese Reduction vorzunehmen, und sie dadurch vergleichbar gemacht. So reducirt finden sie sich in der unten angehängten Tabelle.

426) Von vorzüglicher Wichtigkeit sind die durch Dulong und Petit angestellten Versuche[1], weil sie aufser den eigentlich gesuchten Bestimmungen zu Resultaten führten, die bis auf die neuesten Zeiten fortdauernd einen Gegenstand weiterer Untersuchungen bildeten. Diese Gelehrten gestehen zu, dafs die Methode der Mischung, oder die Anwendung des Eiscalorimeters, bei gehöriger Vorsicht sehr genaue Resultate liefern könne; weil aber die zu untersuchenden Substanzen selten in genügender Quantität vorhanden sind, was wohl vorzugsweise in Beziehung auf das Eiscalorimeter gilt, so zogen sie die Methode der Abkühlung vor, und bemüheten sich dabei hauptsächlich, die beiden Fehler, die aus der ungleichen Leitungsfähigkeit der gebrauchten Massen und der zu schnellen Abkühlung entspringen, dadurch zu vermeiden, dafs sie nur geringe Mengen anwandten und für langsames Erkalten sorgten. Letzteres liefs sich dadurch erreichen, dafs die Erkaltung nur bei Temperaturen statt fand, die 10° bis 5° über die der Umgebung betrugen. Um die Fehler der Thermometer auszugleichen, diente das nämliche Thermometer bei allen Substan-

1 Annales de Chim. et Phys. T. VII. p. 142. T. X. p. 395. Journ. de Phys. T. LXXXIX. p. 81. Mém. de l'Institut 1827. p. 147.

zen so, dafs die Erkaltung von dem nämlichen Puncte bis zu einem andern, für alle gleichen, statt fand, und durch das Ablesen mit einer stark vergröfsernden Loupe konnte kein Irrthum in der Temperaturbestimmung höher als 0°,01 C. steigen, was auf die Bestimmung der specifischen Wärme keinen mefsbaren Einflufs mehr ausübt. Um die Wirkung der äufseren Umgebung zu beseitigen, wurde der zu untersuchende Körper jedesmal in einen kupfernen, inwendig berufsten Ballon eingesenkt, welcher in einem Gefäfse mit schmelzendem Eise stand, so dafs die Strahlung stets die nämliche war; aufserdem waren die zu untersuchenden Substanzen pulverisirt, in einem Cylinder von dünnem Silber festgestampft, in dessen Axe der Behälter des Thermometers sich befand, welches zum Messen der Temperatur diente, der kupferne Ballon aber, in welchem dieser Cylinder erkaltete, wurde bis auf 2 Millim. Quecksilberdruck ausgepumpt. Wie weit die erforderlichen Bedingungen erreicht wurden, ersieht man daraus, dafs selbst die dichtesten Körper, als Gold und Platin, nicht mehr als 30 Gramm betrugen, die Zeit des Erkaltens aber mindestens 15 Minuten dauerte. Eine Vergleichung der erhaltenen Resultate mit solchen, die durch Mischung und Anwendung eines Eiscalorimeters gefunden waren, zeigte die grofse Genauigkeit derselben. Dulong und Petit gelangten durch ihre Versuche zu einem höchst merkwürdigen *Gesetze*, wonach die Atome aller einfachen Körper genau die nämliche Wärmecapacität haben sollen, oder mit andern Worten, wenn S die specifische Wärmecapacität und A das Atomgewicht bezeichnen, so ist $S = \frac{C}{A}$ und annähernd $S = \frac{0{,}375}{A}$, oder *das Product der specifischen Wärmecapacitäten in die Atomgewichte ist eine constante Gröfse.* Wir wollen zuerst die durch die genannten Gelehrten gefundenen Bestimmungen mittheilen, und dann bei den folgenden Untersuchungen dieses wichtige Gesetz im Auge behalten.

Substanzen	S	A	SA
Wismuth . . .	0,0288	13,300	0,3830
Blei	0,0293	12,950	0,3794
Gold	0,0298	12,430	0,3704
Platin	0,0314	11,160	0,3740
Zinn	0,0514	7,350	0,3779
Silber	0,0557	6,750	0,3759
Zink	0,0927	4,030	0,3736
Tellur	0,0912	4,030	0,3675
Kupfer	0,0949	3,957	0,3755
Nickel	0,1035	3,690	0,3819
Eisen	0,1100	3,392	0,3731
Kobalt	0,1498	2,460	0,3685
Schwefel . . .	0,1880	2,011	0,3780

Obgleich seit der Zeit, in welche diese Versuche fallen, noch viele andere angestellt wurden, von denen die wichtigeren demnächst erwähnt werden sollen, so scheint es doch am angemessensten, ihnen zunächst die nachfolgenden anzureihen.

427) Das durch Dulong und Petit aufgestellte allgemeine Gesetz ist zwar ausnehmend wichtig und erregte daher auch anfangs viel Aufsehen, allein es stimmt nach der Meinung einiger Physiker mit den neuerdings durch Mitscherlich's Gesetz des Isomorphismus und die genauen Versuche von Berzelius richtiger aufgefundenen Atomgewichten nicht überein, wie hauptsächlich Victor Regnault[1] zu zeigen sich bemüht hat. Nimmt man statt jener älteren Bestimmungen diese neueren der Atomgewichte, so weichen die Producte derselben in die specifischen Wärmen allerdings ungemein von einander ab, wie folgende Uebersicht zeigt.

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 7. Poggendorff's Ann. LI. 1 u. 213.

Substanzen	spec. Wärme	Atom-gewichte	Producte
Wismuth . . .	0,0288	8,87	0,2553
Blei	0,0293	12,95	0,3794
Gold	0,0289	12,43	0,3704
Platin	0,0314	12,33	0,3872
Zinn	0,0514	7,35	0,3799
Silber	0,0557	13,51	0,7518
Zink	0,0927	4,03	0,3736
Tellur	0,0912	8,06	0,7350
Kupfer	0,0949	3,957	0,3755
Nickel	0,1035	3,69	0,3819
Eisen	0,1100	3,392	0,3731
Kobalt	0,1498	3,69	0,5528
Schwefel . . .	0,1880	2,011	0,3780

Auffallend bleibt hierbei immer die bei vielen so auffallende Uebereinstimmung neben den grofsen Abweichungen bei andern, ohne dafs diese durch Zwischenglieder ausgeglichen werden.

428) Regnault stellte selbst eine Reihe von Versuchen an und bediente sich dabei der Methode der Mischungen. Die zu untersuchenden Körper wurden als kleinere oder gröfsere Stücke in einen kleinen Korb aus sehr dünnem Messingdrahte gelegt, welcher in seiner Axe eine Hülse hatte, um das zum Messen der erreichten Temperatur dienende Thermometer aufzunehmen. Dieses Körbchen wurde zum Erwärmen mittelst Seidenfäden im Wärmekasten aufgehangen, welcher aus drei concentrischen Cylindern aus Weifsblech bestand. Der innerste Fig.
Cylinder A diente zur Aufnahme des Körbchens mit den zu 65.
untersuchenden Körpern und einem Thermometer in der inneren, durch die Zeichnung kenntlichen Hülse. Der ihn umgebende Cylinder BB aus Weifsblech ist stets mit siedendem Wasserdampf erfüllt, welcher aus dem Kessel V einströmt, durch das Rohr T wieder entweicht und sich im Schlangenrohre S verdichtet. Der äufserste Cylinder CC dient als Mantel, um vermittelst der eingeschlossenen Luftschicht die Abkühlung des Cylinders BB zu verhüten. Am oberen Ende ist der Cylinder A durch einen Stopfer von Weifsblech bb verschlossen, durch welchen das Thermometerrohr herausragt, am unteren durch einen verschiebbaren hohlen Cylinder R, gleichfalls aus Weifsblech, von gleicher Dicke als die äufsere Hülle

CC. Als Träger des Erwärmungsapparates dient das hohle Gefäfs DD von Weifsblech, welches mit stets erneuertem Wasser von der Temperatur der Umgebung gefüllt wird und dazu dient, um zu verhüten, dafs das Wassergefäfs beim Versuche keine Wärme vom Wärmungsapparate annimmt. In seiner Mitte ist dieser Träger durch eine der Weite des Cylinders A genau gleiche Oeffnung durchbohrt, welche während des Erwärmens durch den verschiebbaren Deckel R′ verschlossen gehalten wird, indem er durch das Verbindungsstück m am Schliefser R festsitzt; beide werden gleichzeitig mit einander herabgezogen, wenn man den Cylinder A unten öffnen will. Das Gefäfs H, mit Wasser gefüllt, in welches man den Kork mit der zu untersuchenden Substanz herabsenkt, besteht aus sehr dünnem Messingblech und wird durch zwei sich durchkreuzende Seidenfäden gehalten, die an die Träger des in einer Nuth verschiebbaren Gestelles festgebunden sind. In geringem Abstande von der Wand dieses Gefäfses hängt das Thermometer, dessen Cylinder so lang ist, als die Höhe des Wassers vom Boden an beträgt, und im Durchmesser nicht ganz drei Millimeter mifst, um die Temperatur des Wassers schnell anzunehmen, zugleich aber ist 1 Centesimalgrad der willkürlich getheilten Scale in 15 Theile getheilt, und die Beobachtung geschieht mittelst eines Fernrohrs mit horizontaler Axe, welches an seinem Träger mit getheilter Scale in verticaler Richtung verschoben wird, wodurch mittelst eines Nonius die Eintheilung jedes Scalentheiles in Zehntel möglich gemacht ist. Das Wasser wird in dieses Gefäfs aus einem Glase mit engem Halse geschüttet, welches genau die erforderliche Menge enthält, so dafs nach dem Einsenken des Körbchens das Gefäfs fast genau voll ist und mit kleinen Differenzen 500 Gramm Wasser enthält.

Ist das Körbchen im Cylinder A aufgehangen und hat die Erwärmung begonnen, so steigt die Temperatur zwar anfangs rasch, aber dennoch dauert es sehr lange, bis das Thermometer einen bleibenden Stand angenommen hat, welcher stets 1 bis 2 Grade unter der des Dampfes bleibt. Diesen erreicht es in etwa zwei Stunden, mufs aber dann noch eine Stunde in diesem Zustande erhalten werden, ohne um die Hälfte eines Scalentheiles, also 0°,1 C., zu variiren, denn die langsame Erwärmung ist das Mittel, allen Theilen des zu untersuchenden Körpers die nämliche Temperatur zu geben. Dann

wird das Wassergefäfs eingerichtet, seine Temperatur mittelst des Fernrohrs abgelesen, die Temperatur der Umgebung nach einem empfindlichen, in der Nähe des Wassergefäfses aufgehangenen Thermometer bestimmt, und das Wassergefäfs gerade unter den Cylinder A geschoben, indem ein Einschnitt in den Heizapparat die Röhre des Thermometers aufnimmt. Nach Wegnahme des unteren Verschlusses des Cylinders A läfst man das losgebundene Körbchen in das Wassergefäfs herab; und während ein Gehülfe dasselbe im Wasser stets herumdreht, beobachtet man mittelst des Fernrohrs den Gang des Thermometers. In nicht mehr als 0,5 Secunden (?) geschieht das Herablassen des Körbchens in das Wasser und letzteres gelangt zum Maximum seiner Temperatur in etwa 1 bis 2 Minuten, wenn der Körper nicht ein schlechter Wärmeleiter ist, wobei noch die Vorsicht angewandt wurde, dem Wasser im Kühlgefäfse eine Temperatur zu geben, welche 1° bis 2° niedriger war als die der Umgebung, weil es am Ende des Versuches diese um nahe ebenso viel übertraf. Aufserdem aber wurde noch eine kleine Correction für den geringen Wärmeverlust durch Strahlung angebracht, deren Gröfse durch vorläufige Versuche bestimmt war.

429) Im Allgemeinen wird vorausgesetzt, dafs die zu untersuchenden Körper in hinlänglich grofsen Stücken vorhanden sind, was aber nicht jederzeit der Fall ist. Flüssigkeiten schliefst man in gläserne Röhren von 15 Millim. Durchmesser ein, die oben und unten verschlossen und bis auf einen kleinen, der Ausdehnung wegen gelassenen Raum ganz erfüllt sind. Diese werden in das Körbchen gelegt, und man verfährt dann, wie gewöhnlich. Hierbei dauert die Abkühlung etwa 3 Minuten, und das Resultat wird wegen des vorher genau bestimmten Einflusses der Glashülle corrigirt. Pulverartige Körper, als Metallspähne und Metalloxyde, werden benetzt und zusammengeballet, dann getrocknet, um sie in das Körbchen bringen zu können; mitunter kann man sie in hohlen Cylindern zusammenpressen, wodurch sie zusammenhängend werden. Wenn alles dieses nicht gelingt, so schüttet man sie in kleine Cylinder von sehr dünnem Messing, 15 Millim. im Durchmesser und 30 Millim. hoch, worin man sie festdrückt, und die man in das Körbchen bringt. Es geschieht dieses jedoch nur in unvermeidlichen Fällen, weil die Resultate weniger genau werden;

denn die Zeit der Abkühlung dauert länger, und zwar 10 bis 15 Minuten. Da nach dem Princip der Methode das Maximum der Temperatur des Wassers nach dem Vorgange von Delaroche und Bérard gesucht wird, das heifst dasjenige Stadium, wobei der Körper dem Wasser ebenso viele Wärme mittheilt, als es durch Strahlung verliert, so wird hierbei vorausgesetzt, dafs dann der Körper mit dem Wasser eine gleiche Wärme habe, was aber nicht der Fall ist, wenn man mit einem schlechten Leiter operirt, und daher die Zeit, bis zum Erreichen des Maximums länger dauert. Dieses findet dann statt, wenn man auf die zuletzt angegebene Weise mit Pulvern in messingnen Behältern operirt. Regnault brachte hierbei eine Correction an, indem er die Zeiten und Grade der Erwärmung des Wassergefäfses vom Anfange an bis zum Eintritt des Maximums in eine Relation brachte; inzwischen übergehe ich dieses und bemerke nur, dafs auch bei Flüssigkeiten in Glasröhren eine etwas längere Zeit erfordert wurde, jedoch war in diesem Falle die Correction unnöthig, weil sie nur eine verschwindend kleine Gröfse gab. Auf jeden Fall können die erhaltenen Resultate für so viel genauer gelten, je kürzere Zeit bis zur Erreichung des stationären Zustandes erfordert wurde. Für Körper, die im Wasser auflöslich sind, wählte Regnault Terpentinspiritus statt des Wassers im Kühlgefäfse, nachdem vorher durch vorläufige Versuche dessen specifische Wärme zwischen 5° und 15° Temperatur bestimmt, und die Abkühlung dieser Flüssigkeit in ihrem Gefäfse ausgemittelt war, um den durch Ausstrahlung bewirkten Wärmeverlust derselben bei den Versuchen in Rechnung zu nehmen. Uebrigens ist diese Flüssigkeit für den vorliegenden Zweck sehr geeignet, wegen ihrer grofsen Fluidität, aber der Wärmeverlust an die äufsere Umgebung ist ungleich schneller als beim Wasser wegen ihrer geringeren Wärmecapacität, welche nur 0,43 beträgt, weswegen auch die durch die nämlichen Körper in Folge des Eintauchens in ihr erzeugte Temperaturerhöhung fast 2,5mal stärker ist als diejenige, die Wasser erhält. Um zu verhüten, dafs die Veränderung, welche der Terpentinspiritus durch den Einflufs der äufsern Luft erleiden könnte, keine Unrichtigkeit in der Bestimmung der specifischen Wärme erzeugen möchte, wurden von Zeit zu Zeit Versuche mit dem nämlichen, für diesen Zweck aufbewahrten Stücke Kupfer angestellt, die daher die

nämlichen Resultate geben mufsten, so lange die Flüssigkeit keine wesentliche Veränderung erlitten hatte. Dennoch aber wurde die nämliche Quantität nur drei Wochen lang gebraucht, und Sorge getragen, dafs sie während dieser Zeit dem Einflusse der äufsern Luft so wenig als möglich ausgesetzt war.

430) Regnault's Versuche sind so gehaltreich und können so sehr als Muster für ähnliche Arbeiten gelten, dafs sie eine ausführliche Erwähnung verdienen. Das Messing des Gefäfses wog 55,15 Gramm und galt bei einer specifischen Wärmecapacität = 0,0939 für 5,18 Gramm Wasser; das Quecksilber des Thermometers wog 7,62 Gr. und giebt also ein Aequivalent von 0,251 Gramm Wasser; das Glas desselben und ein Theil der Röhre, zusammen 1,27 Gramm, gilt für 0,265 Gramm Wasser, wonach also der eingetauchte Theil des Thermometers auf Wasser reducirt 0,516 Gramm beträgt, und zu dem Gewichte des Wassers selbst noch 5,7 Gramm hinzukommen. Die reducirten Gewichte der gebrauchten Körbchen schwanken zwischen 1,284 und 0,258 Gramm. Da dieselben aber aus so dünnen Drähten bestehen, und so viel Oberfläche darbieten, zog Regnault vor, ihren Einflufs durch directe Versuche aufzufinden, die mit 10, 20 und 30 Gramm Blei angestellt wurden, dessen specifische Wärme genau bekannt ist. Er fand für das eine derselben 0,913, statt dafs die Berechnung 1,147 gegeben hatte, weswegen er die übrigen hiernach reducirte. Die Formel für die Abkühlung des Wassers ist

$$\varDelta\Theta = 0^\circ{,}0001386\,\Theta$$

und des Terpentinspiritus

$$\varDelta\Theta = 0^\circ{,}0002075\,\Theta,$$

worin Θ den Ueberschufs der Temperatur des Wassers über die Umgebung und $\varDelta\Theta$ den Wärmeverlust in 1 Secunde bezeichnet. Der gesammte Wärmeverlust wurde gefunden, indem man $\varDelta\Theta$ mit der Zahl der Secunden multiplicirte, während deren die Abkühlung statt fand. Diese Formeln stimmten mit einer Reihe von Versuchen überein, welche zur Ermittelung des Erkaltens von Wasser und Terpentinspiritus angestellt wurden, während man ein kleines angefülltes Körbchen stets darin bewegte.

431) Die Resultate der Versuche scheinen mir so wichtig, dafs ich die Zusammenstellung derselben in einer Tabelle, wie

diese durch Regnault gegeben worden ist, hier aufnehme, da in der am Ende mitgetheilten allgemeinen Tabelle nur die Hauptresultate Platz finden können. Voraus ist aber in Beziehung auf die Körper, deren specifische Wärme ermittelt wurde, noch zu bemerken, dafs das angewandte Messing aus 71 Kupfer, 27,6 Zink, 1,3 Blei und einer Spur von Zinn bestand. Um die specifische Wärme des Terpentinspiritus innerhalb der Temperaturen zu finden, bei denen es in den Versuchen in Anwendung kam, wurde das messingne Gefäfs mit der gewöhnlich gebrauchten Menge dieser Flüssigkeit gefüllt, und dann die Temperaturerhöhung beobachtet, welche eine gewogene Menge Kupfer in demselben erzeugte, dessen specifische Wärme vermittelst Wassers sehr genau = 0,09515 gefunden war. Das untersuchte Zink war durch Destillation gereinigt, und aufserdem wurde die Oberfläche der Körner durch verdünnte Salzsäure blank gemacht. Auch das Arsenik war auf diese Weise gereinigt. Das Cadmium war sehr rein und zeigte bei der Analyse nur ein Procent beigemischte fremdartige Substanz. Zur Reinigung des Wismuth diente ein mehrmaliges Schmelzen desselben mit 0,1 seines Gewichts Salpeter, ebenso wurde auch das Spiefsglanz gereinigt. Das Zinn war ganz reines von Banca, Nickel dagegen ist nicht leicht völlig rein zu erhalten, und seine specifische Wärme möchte daher wohl etwas zu grofs seyn. Das Palladium enthielt nur eine Spur Gold, das Scheel war aus Scheelsäure mittelst Wasserstoffs reducirt und dann stark geglüht, ebenso das Molybden und Uran, der Schwefel war durch Destillation gereinigt und dann geschmolzen, das Selen mochte wohl eine Spur von Schwefel enthalten, die aber durch Versuche nicht aufzufinden war, das Iod war durch Destillation gereinigt, das Iridium war vermuthlich nicht rein, da man es selten so erhält, denn es hatte nur 13,176 specifisches Gewicht, statt dafs man ihm gewöhnlich 15,683 beilegt, und die gefundene specifische Wärme mufs daher etwas zu grofs seyn. Kohlenstoff wird gleichfalls sehr schwer rein erhalten, und ist dann nur in feinster Pulverform vorhanden, welche für diese Art der Versuche als die ungünstigste gelten mufs; Regnault begnügte sich daher den Versuch mit feinem Pulver von Holzkohle anzustellen, die mit Salzsäure rein ausgewaschen war, wozu er etwas concentrirte Zuckerlösung setzte und dann die Masse nochmals

calcinirte, um eine poröse Masse zu erhalten, die er in das Drahtkörbchen legen konnte; inzwischen kann die gefundene specifische Wärme nicht absolut genau seyn, denn es zeigte sich eine wahrnehmbare Menge Asche der Kohle beigemengt, die auf die Bestimmung der specifischen Wärmecapacität einen Einflufs ausüben mufste[1]. Der Phosphor wurde in Glasröhren eingeschlossen, und auf diese Weise nur bis 30° C. mittelst einer besondern Vorrichtung erhitzt in das Kühlgefäfs mit Terpentinspiritus gebracht, weswegen die gefundene specifische Wärme wohl nicht absolut genau seyn mag. Weil aber Avogadro diese fast dreimal so grofs gefunden hat, so stellte Regnault noch einige Versuche an, wobei der Phosphor im gewöhnlichen Apparate bis nahe an 100° C. erwärmt und dann im Wassergefäfse abgekühlt wurde. Hierbei enthielt das Resultat offenbar zugleich die Flüssigkeitswärme, aber dennoch blieb es noch bedeutend hinter dem durch Avogadro gefundenen zurück. Mangan ist nicht wohl rein in metallischer Form zu erhalten, und das mit Kohlenpulver stark geglühete mufste daher einen beträchtlichen Zusatz von Kohlenstoff enthalten, weswegen das Resultat nicht als völlig genau gelten kann. Folgende Tabelle enthält eine Uebersicht der gefundenen und berechneten Gröfsen.

---

1 Ueber die specifische Wärme des Kohlenstoffs vergl. §. 447.

Substanzen	spec. Wärme	Mittel	spec. Wärme nach Dulong	Atomgewichte	Producte
Messing . . .	0,09404 0,09378	0,09391	. . . .	. . . .	. . . .
Glas	0,19768	0,19768	. . . .	. . . .	. . . .
Wasser von 0° bis 100° . .	1,00709 1,00890	1,00800	. . . .	. . . .	. . . .
Terpentinspiritus	0,42988 0,42667 0,42089 0,42745 0,42476	0,42593	. . . .	. . . .	. . . .
Eisen	0,11362 0,11373 0,11322 0,11284 0,11397	0,11379	0,1100	339,21	38,597
Zink	0,09589 0,09528 0,09548	0,09555	0,0927	403,23	38,526
Kupfer	0,09537 0,09546 0,09497 0,09480	0,09515	0,0949	395,70	37,849
Cadmium . . .	0,05695 0,05673 0,05639	0,05669	. . . .	696,77	39,502
Silber	0,05739 0,05691 0,05685 0,05679 0,05712	0,05701	0,0557	675,80	38,527
Arsenik . . .	0,08163 0,08205 0,08114 0,08081 0,08136 0,08117	0,08140	0,0810	470,04	38,261
Blei	0,03134 0,03177 0,03109 0,03137 0,03145 0,03129 0,03150 0,03133	0,03140	0,0293	1294,50	40,647

Substanzen	spec. Wärme	Mittel	spec. Wärme nach Dulong	Atomgewichte	Producte
Wismuth . . .	0,03082 0,03089 0,03081 0,03084 0,03093	0,03084	0,0288	1330,37	45,034
Antimon . . .	0,05113 0,05037 0,05084 0,05076 0,05065	0,05077	0,0507	806,45	40,944
Zinn, indisches . . .	0,05624 0,05619 0,05652 0,05623 0,05601	0,05623	0,0514	735,29	41,345
Zinn, englisches . . .	0,05685 0,05705	0,05695	. . . .	. . . .	. . . .
Nickel	0,10873 0,10838 0,10878	0,10863	0,1035	369,68	40,160
Cobalt	0,10685 0,10707 0,10629 0,10784	0,10696	0,1489	368,99	39,468
Platinblech . .	0,03279 0,03246 0,03227 0,03224 0,03238 0,03268 0,03263	0,03243	0,0314	1233,50	39,993
Platinschwamm .	0,03305 0,03281	0,03293	. . . .	. . . .	. . . .
Palladium . .	0,05974 0,05893 0,05916	0,05927	. . . .	665,90	39,468
Gold	0,03250 0,03238	0,03244	0,0298	1243,01	40,328
Schwefel . . .	0,20446 0,20179 0,20153	0,20259	0,1880	201,17	40,754
Selen	0,08349 0,08396 0,08368	0,08370	. . . .	494,58	41,403

Substanzen	spec. Wärme	Mittel	spec. Wärme nach Dulong	Atomgewichte	Producte
Tellur	0,05040 0,05194 0,05177 0,05205	0,05155	0,0912	801,76	41,549
Iod	0,05423 0,05401	0,05412	0,08900	789,75	42,703
Uran	0,06239 0,06191 0,06140	0,06190	. . . .	677,84	41,960
Scheel . . .	0,03685 0,03616 0,03606	0,03636	. . . .	1183,00	43,002
Molybden . .	0,07254 0,07182	0,07218	. . . .	598,52	43,163
Nickel, nicht geschmolzen	0,11136 0,11207 0,11232	0,11192	. . . .	369,68	41,376
Nickel, geschmolzen	0,11676 0,11586	0,11631	. . . .	369,68	42,999
Cobalt . . .	0,11619 0,11782 0,11734	0,11712	. . . .	368,99	43,217
Stahl	0,11789 0,11896	0,11848	. . . .	339,21	40,172
Stahl, feiner	0,12728	0,12728	. . . .	339,21	43,174
Gufseisen . .	0,12983	0,12983	. . . .	339,21	44,038
Kohle	0,24111	0,24111	0,25000	152,88	36,873
Phosphor 10° bis 30° . .	0,18950 0,18780	0,18870	0,38500	196,14	37,024
Phosphor 0° bis 100° C.	0,25250 0,25034	0,25140	. . . .	. . . .	. . . .
Iridium (unrein) . . .	0,03715 0,03663 0,03672	0,03683	. . . .	1233,50	45,428
Mangan (unrein) . . .	0,14244 0,14578	0,14411	. . . .	345,89	49,848
Quecksilber	0,03318 0,03361 0,03343	0,03332	0,0330	1265,82	42,149

Im Ganzen stimmen die hier mitgetheilten Gröfsen mit den durch Dulong und Petit gefundenen genau genug überein, was sehr für ihre Richtigkeit zeugt. Regnault meint, die von ihm erhaltenen Bestimmungen seyen im Allgemeinen etwas gröfser als die jener Beobachter, was er davon ableitet, dafs diese die im Wasser erwärmten Körper ins Kühlgefäfs trugen, wodurch eine geringe Abkühlung entstehn mufste; inzwischen ist ein solcher constanter Unterschied kaum merkbar.

432) Handelt es sich um die Frage, ob das von Dulong und Petit aufgestellte Gesetz gültig sey, so ist allerdings das Product der Atomgewichte in die specifischen Wärmen nach der hier mitgetheilten Tabelle keine constante Gröfse, vielmehr schwanken diese Producte zwischen 38 und 42 (denn es kann hierbei blofs von einfachen Körpern und von denjenigen Bestimmungen die Rede seyn, die keine erweislichen Unrichtigkeiten einschliefsen, wie z. B. die des Mangans und Irids), allein auch dieser Unterschied ist gröfser als er bei der Genauigkeit der Versuche seyn dürfte. Regnault zählt indefs mehrere Ursachen auf, welche die Gröfse der specifischen Wärme der Körper bedingen. Dahin gehört namentlich diejenige Wärme, welche die Körper flüssig macht, und daher schon vor dem Eintritt dieses Flüssigkeitszustandes wirksam seyn soll. Aufserdem aber ist die gemessene specifische Wärme diejenige, welche den Körper zugleich ausdehnt, sofern er mit dem Uebergange von einer Temperatur zu einer höheren zugleich eine Vergröfserung seines Volumens erleidet, und die man daher die *Ausdehnungswärme* nennen könnte. Sie ist sehr grofs in den gasförmigen Körpern, weit geringer in den flüssigen und festen, und mufs, wie Regnault meint[1], die specifische Wärme nothwendig veränderlich machen. Hierzu kommt, dafs man bei der Bestimmung der specifischen Wärme von einer beliebigen Temperatur ausgeht, die zu der physischen Beschaffenheit der einzelnen Körper, z. B. zu ihrer geringeren oder gröfseren Strengflüssigkeit, in keinem nothwendigen Zusammenhange steht; was um so wichtiger erscheint, wenn man berücksichtigt, dafs die specifische Wärme mit der Zunahme der Temperatur wächst. Endlich ist zu berücksichtigen, dafs auch mit der Dichtigkeit der nämlichen Körper ihre

1 Vergl. die hierüber angestellten Betrachtungen in §. 403 ff.

specifische Wärme abnimmt. So zeigte Kupfer in zwei Versuchen 0,09501 und 0,09455, nach starkem Hämmern aber 0,09360 und 0,09332, und nach dem Ausglühen 0,09493 und 0,09479, wogegen Blei und Zinn nach dem Pressen keine Vermehrung weder der Dichtigkeit nach der specifischen Wärme zeigten. Wäre es möglich alle diese Bedingungen mit in die Gleichung aufzunehmen, so würde sich wohl ohne Zweifel das aufgestellte Gesetz als genau mit der Erfahrung übereinstimmend zeigen.

Was Regnault ferner über die Genauigkeit der gangbaren, meistens durch Berzelius aufgefundenen Bestimmungen der Atomgewichte sagt, wage ich nicht zu würdigen; bemerkt werden mufs jedoch, dafs einige in der Tabelle aufgenommene von jenen bekannten des schwedischen Chemikers bedeutend abweichen, und zwar aus Gründen, die zugleich ausführlicher erörtert worden sind. Werden die früheren Bestimmungen beibehalten, so zeigen sich auch dann noch einige sehr starke Abweichungen von dem aufgestellten Gesetze, von der andern Seite aber zeigt sich dieses in vielen Fällen so ausnehmend richtig, dafs man kaum umhin kann, dasselbe als wirklich existirend anzunehmen. Wir werden aber in der Folge sehen, dafs der Annahme desselben immer noch bedeutende Schwierigkeiten entgegenstehn, und es auf jeden Fall noch zu früh seyn würde, die Atomgewichte der einfachen Körper aus ihren specifischen Wärmecapacitäten bestimmen zu wollen.

433) Für eine noch gröfsere Menge von Körpern als die so eben angegebenen hat Neumann[1] die specifischen Wärmecapacitäten bestimmt. Unter den drei hierzu anwendbaren Methoden, der Mischung, des Calorimeters und der Abkühlung, sind die beiden ersten direct, und die Anwendung des Calorimeters schien ihm vor den andern den Vorzug zu verdienen, sobald grofse Massen zu Gebote stehn; inzwischen hielt er es doch für geeigneter, sich zuvor durch die Methode der Mischung von der Zulässigkeit der indirecten Methode der Abkühlung zu überzeugen und dann zu dieser überzugehn. Bei der Genauigkeit der angestellten Versuche gewährt also diese Arbeit zugleich noch den Vortheil, beide von dem nämlichen

1 Poggendorff's Ann. XXIII. 1.

Experimentator angewandte Methoden mit einander zu vergleichen. Wir übergehn hier die Mittel, wodurch Neumann bei der Anwendung der Methode der Mischung die erforderlichen Correctionsgröfsen auffand, weil sie sich zunächst auf die von ihm gewählte eigenthümliche Verfahrungsweise beziehn, obgleich sie auch im Allgemeinen viele wichtige Belehrungen enthalten, die bei der Anstellung solcher Versuche der Beachtung sehr werth sind. Bei der Methode der Mischung wird nämlich vorausgesetzt, dafs zuerst die Temperatur des erhitzten Körpers sowohl, als auch des Wassers, worein derselbe getaucht wird, in allen Theilen ihrer Masse genau bekannt sey, dafs zweitens beide nach der Mischung zu einer durchaus gleichen und genau bestimmten Temperatur gelangen und dafs drittens für beide keine Wärme weder von aufsen hinzukomme, noch dahin abgeleitet werde. Diese Bedingungen sind jedoch schwer in gröfster Strenge zu erreichen, und die hieraus erwachsenden Fehler müssen daher nach den Umständen der Versuche corrigirt werden. Neben der Methode der Mischung wurde auch die der Abkühlung angewandt, und diese geschah nach Dulong's Angabe im luftverdünnten Raume. Das dabei gebrauchte Thermometer hatte zum Gefäfs einen Cylinder, über welchem eine messingene Scheibe mit einem Schraubengewinde an ihrem Rande festgelackt war, um einen auswärts vergoldeten hohlen messingnen Cylinder so darauf zu schrauben, dafs das Gefäfs des Thermometers sich in dessen Axe befand. Der Zwischenraum wurde mit der zu untersuchenden, sehr fein gepulverten Substanz ausgefüllt, und dann auf den hohlen messingnen Cylinder ein dünner, gleichfalls aufsen vergoldeter Deckel gesteckt, wobei die Weite des Zwischenraumes etwa 0,5 Lin. betrug. Dieser Apparat wurde in ein weites, inwendig geschwärztes, messingnes Gefäfs so gestellt, dafs er die Mitte desselben einnahm und die Thermometerscale frei hervorragte; auf das messingne Gefäfs war eine Campane luftdicht geschraubt, und es wurde dann dasselbe nebst der Campane mittelst einer Luftpumpe evacuirt. Das Erwärmen dieser Vorrichtung geschah durch Eintauchen in warmes Wasser, die Abkühlung durch Eintauchen in solches, welches die Temperatur des Zimmers hatte, und dann wurde die Zeit der Abkühlung von 10° C. bis 1°,25 Ueberschufs über die Wärme des Wassers genau gemessen. Das vorher wegen des Calibers

corrigirte[1] Thermometer war so getheilt, dafs 3,24 Theile 1° R. ausmachten, dasjenige aber, welches zum Messen der Temperatur des Wassers diente und mit jenem vorher genau verglichen war, gab auf seiner Scale 0°,2 R. an; die Beobachtung des inneren geschah mit einer Loupe, und da das Zusammenfallen der Oberfläche des Quecksilberfadens mit dem Theilstriche sich scharf unterscheiden läfst, so fand kein parallactischer Fehler statt. Der Luftdruck im Gefäfse, welcher 10 bis 20 Lin. betrug, gab ein Manometer an.

Es liegt in der Natur dieser Methode, dafs die Zeiten binnen deren das Thermometer von einem bestimmten Ueberschusse der Temperatur über die des Wassers zu einem andern herabgeht, das Verhältnifs der Wärmecapacitäten des vergoldeten Cylinders und der in ihm enthaltenen verschiedenen Substanzen geben. Inzwischen ergab sich, dafs die nämlichen Substanzen unter gleichen Bedingungen nicht stets gleiche Resultate gaben, sondern Abweichungen zeigten, die gröfser waren, als dafs man sie aus Beobachtungsfehlern ableiten konnte. Neumann vermuthete daher, dafs sie vom Luftdrucke auf das Thermometer, hauptsächlich aber von einem Reste im Innern des evacuirten Gefäfses vorhandener Feuchtigkeit herrührten, weswegen später der evacuirte Apparat mit einer in ihm befindlichen Schale voll Chlorcalcium erst eine Nacht hindurch stehn blieb, was einen günstigen Erfolg gewährte. Demnächst war erforderlich, den Einflufs des Thermometers und des vergoldeten Cylinders zu ermitteln, welches zuerst durch die Methode der Mischung geschah, wobei die specifische Wärme des Quecksilbers = 0,033; des Glases = 0,177; des Messings = 0,093 erhalten ward, demnächst aber auf directem Wege durch Versuche, wobei der Apparat mit vier verschiedenen Körpern von bekannter Wärmecapacität gefüllt wurde, und es zeigte sich hierbei die Zulässigkeit dieses letzteren Verfahrens.

434) Sofern durch Neumann in seinen ebenso mühsamen als mit gröfster Sorgfalt angestellten Versuchen die specifischen Wärmecapacitäten der nämlichen Körper nach zwei Methoden, der der Mischung und der der Abkühlung, bestimmt wurden, ist es interessant, die Resultate beider mit einander zu vergleichen, um so mehr, als die Bestimmungen vermittelst

1 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 940.

ler ersteren Methode theils durch Anwendung gröfserer Stücke, welche frei eingetaucht wurden, theils mit Pulver, welches in inem Gefäfse enthalten war, erhalten sind. Hierzu dient die nachfolgende Tabelle, worin jedoch blofs die Mittelwerthe aus wenig abweichenden einzelnen enthalten sind.

Substanzen	spec. Gewicht	Methode der Mischung		Methode der Abkühlung
		im Gefäfse	frei	
Schwerspath	4,429	0,1070	....	....
Cölestin	3,955	....	0,1300	....
Anhydrit	2,955	0,1854	....	0,169
Schwefelkies	5,042	0,1323	0,131	....
Speerkies	4,882	0,1332	....	....
Arragonit	2,926	0,1966	....	....
Kalkspath	2,750	0,2015	0,2093	0,195
Bitterkalkspath	2,914	0,2179	....	....
Gurhofian	...	....	0,2168	....
blättriger Magnesit	3,037	0,2270	....	....
Spatheisenstein	3,872	0,1820	....	0,183
Galmei	...	....	0,1712	0,161
Rotheisenstein	5,079	....	0,1660	....
Eisenglanz	...	....	....	0,163
Bergkrystall	2,610	0,1894	....	....
Schwefel	...	....	....	0,209
Antimon	...	....	....	0,047
Zinnober	...	....	....	0,052
Realgar	3,240	....	....	0,130
rothes Quecksilberoxyd	...	....	....	0,049
Wismuthmetall	...	....	....	0,027
grau Spiefsglanz	4,603	....	0,083	0,092
Bleiglanz	7,568	....	0,044	0,053
Blende	4,060	....	0,113	0,112
Zinkoxyd	...	....	....	0,132
Uranoxydul	...	....	....	0,106
Uranpecherz	...	....	....	0,106
Kupferoxyd	...	....	....	0,137
Chromoxyd	...	....	....	0,196
Zinkstein	...	....	....	0,090
Molybden	...	....	....	0,102
Mennig	...	....	....	0,061
antimonichte Säure	...	....	....	0,130
Magnesia	...	....	....	0,276

Neumann bediente sich später eines mehr vervollkommnete[n] Apparates, und erhielt mittelst desselben noch einige Bestim-mungen, die auf einen sehr hohen Grad von Genauigkeit mi[t] Recht Ansprüche machen, hauptsächlich weil der erwärmte Ap-parat sehr schnell in das Wassergefäfs gebracht wurde, un[d] daher aus dem Wärmeverluste während der früher hierzu er-forderlichen längeren Zeit kein Fehler erwachsen konnte. Di[e] Bestimmungen, welche als die Endresultate seiner Versuche z[u] betrachten sind, enthält die unten angehängte Tabelle.

435) Minder zahlreiche Bestimmungen der specifische[n] Wärme einzelner Körper sind unter andern die von E. G. Fi-scher[1], welcher die des reinen Kiessandes durch die Method[e] der Mischung aus 14 Versuchen = 0,190 fand. Von grofs[er] Wichtigkeit ist aber ein Beitrag, welchen Rudberg[2] zur Lö-sung des vorliegenden Problems geliefert hat, indem er ei[n] neues Mittel angiebt, die Wärmecapacitäten der im Wass[er] löslichen Salze durch diese Lösungen selbst zu bestimmen, ein[e] *Methode*, welche als eine eigenthümliche Modification der d[er] Mischungen zu betrachten seyn dürfte, sich aber sehr dur[ch] ihre Einfachheit empfiehlt. Es sey M die auflösende Wasse[r]-masse, T deren Temperatur, m, c, t die Masse, specifisch[e] Wärme und Temperatur der aufgelösten Salzes, die des Was-sers als Einheit angenommen, τ die Temperatur der Flüssigke[it] nach der Auflösung und λ die dabei gebundene oder freiwe[r]-dende Wärme, so ist die letztere Gröfse zusammengesetzt a[us] der bei der Lösung des Salzes latent werdenden Wärme, a[us] der durch Volumensänderung sich entwickelnden und aus d[er] durch chemische Verbindung erzeugten, falls diese statt finde[t]. Ohne diese einzeln zu berücksichtigen ist gewifs, dafs d[ie] Summe, sie sey positiv oder negativ, nothwendig der Salz-masse proportional und zugleich unveränderlich seyn müsse, s[o] lange das Verhältnifs des Salzes zum Wasser nicht geände[rt] wird. Ist also in zwei Versuchen dieses Verhältnifs consta[nt], die Temperatur des Salzes aber ungleich, so erhält man fol-gende zwei Gleichungen

$$M(T-\tau) + mc\,(t-\tau) = m\lambda),$$

1 Lehrbuch der mechanischen Naturlehre. 3te Aufl. Th. I. S. 80[...]

2 Aus Berzelius Jahresbericht für 1834 in Poggendorff's An[n.] XXXV. 474.

oder da $M = \mu m$ ist, im ersten Versuche:

$$\mu(T - \tau) + c(t - \tau) = \lambda,$$

im zweiten aber

$$\mu(T' - \tau') + c(t - \tau') = \lambda,$$

woraus λ eliminirt, und c oder die specifische Wärmecapacität gefunden werden kann. Rudberg theilt zwei Probeversuche mit, durch die er im Mittel die Wärmecapacität des Kochsalzes = 0,1743 und der schwefelsauren Talkerde mit Krystallwasser = 0,2906 fand, ohne hierbei gerade die schärfste Genauigkeit zu beabsichtigen.

436) Die älteren Bestimmungen der specifischen Wärme einiger zu optischen Apparaten dienender Metalle, und nicht minder auch die von Dalton angegebenen, fand R. Potter[1] so unzulässig, zugleich aber die durch Dulong und Petit erhaltenen von diesen so ungemein abweichend, daſs er sich um so mehr zu eigenen Versuchen entschloſs, als es ihm unverzeihlich schien, daſs die letzteren Gelehrten eben der bedeutenden Unterschiede wegen die von ihren Vorgängern angewandte Methode der Mischungen verlieſsen, welcher er auſser ihrer Einfachheit auch deswegen den Vorzug einräumt, weil man die Fehler leicht beseitigen kann, wenn man zuerst die heiſseren Körper in kälteres Wasser, dann aber die kälteren Körper in heiſseres Wasser taucht, und in beiden Fällen die erzeugte gemeinschaftliche Temperatur miſst. Dieses ist allerdings unbestreitbar richtig, allein wenn man die anfangs durch Potter mittelst beider Verfahrungsarten gefundenen Werthe mit einander vergleicht, so zeigt sich eine so bedeutende Abweichung unter ihnen, daſs man kaum umhin kann, entweder der Methode im Allgemeinen, oder, da diesem anderweitige Gründe entgegenstehn, der durch ihn angewandten Art des Experimentirens sein Vertrauen zu entziehn. So fand er für Stahl durch das erste Verfahren die specifische Wärme = 0,113, durch das zweite 0,200, für Spiegelmetall durch jenes 0,075, durch dieses 0,223. Später glaubte er die Fehler dadurch zu vermeiden, daſs er groſse Massen der einzutauchenden Substanz nahm, denn das Gefäſs, dessen er sich bediente, faſste nur 500 Grains Wasser, und bei den Versuchen mit Blei tauchte

1 Edinburgh Journ. of Sc. N. Sér. N. IX. p. 75.

er 8000 Grains dieses Metalls in 2000 Grains Wasser. Indem er dann mit gröfserer Vorsicht experimentirte, auch die gebrauchten Thermometer gehörig prüfte, erhielt er genauer übereinstimmende Resultate, die in der unten angehängten Tabelle mit aufgenommen sind.

437) Noch haben wir eine der wichtigsten Arbeiten in diesem Gebiete zu erwähnen. Delarive und Marcet, deren Bemühungen um die Auffindung der specifischen Wärmecapacitäten mehrmals erwähnt worden sind, haben diese seit 1830 anhaltend fortgesetzt[1]. Sie bedienten sich dabei der durch Dulong und Petit angegebenen Methode der Abkühlung, indem sie die in geeigneten Gefäfsen eingeschlossenen Substanzen zuerst im leeren Raume, dann während des Vorbeistreichens eines eindringenden Gases oder Dampfes von niedrigerer Temperatur und bestimmter Menge erkalten liefsen, und die hierzu erforderliche Zeit mafsen. Ist dann das Verhältnifs der specifischen Wärme der Gasart oder des Dampfes und der Unterschied der Geschwindigkeit des Erkaltens bekannt, so läfst sich hieraus die specifische Wärmecapacität bestimmen. Statt des von Dulong und Petit gebrauchten Cylinders von Silber nahmen sie eine hohle Kugel von Gold, ungefähr 12 Millim. im Durchmesser haltend und 3 Gramm schwer, für die tropfbaren Flüssigkeiten dagegen ein cylindrisches Gefäfs von Platin, 4 Kubikcentimeter enthaltend und 4,775 Gramm schwer, oder eine hohle Kugel von Platin. Die festen Körper wandten sie als feines Pulver an, um den Fehlern zu entgehen, die daraus entspringen, dafs die sämmtlichen Theile wegen schlechter Durchleitung nicht insgesammt die nämliche Temperatur haben. Der Kugel gaben sie deswegen den Vorzug, weil sich das empfindliche Mefsthermometer in ihrer Mitte befand und die Wärme nach allen Seiten hin gleichmäfsig abgegeben wurde; übrigens war die Art des Experimentirens gerade so, wie die für die Gasarten angewandte, aufser dafs das Schlangenrohr fehlte, und dafs sie die umgebende kupferne Kugel nach dem Exantliren in Eiswasser senkten, wenn sie die Zeiten des Erkaltens mafsen (§. 399). Das Thermometer gestattete seiner kleinen Kugel ungeachtet vermittelst einer Loupe das Ablesen

1 L'Institut. 1840. VIIIme Ann. N. 335. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 232.

von 0,05 und selbst von 0,005 eines Centesimalgrades; da es sich aber bloſs um eine genaue Vergleichung handelte, so hatten sie den Punct der Scale, von wo aus sie die Erkaltung maſsen, und denjenigen, bis zu welchem das Thermometer sinken muſste, durch sehr feine Linien bezeichnet. Meistens beobachteten sie das Sinken des Thermometers nur von 15° bis zu 5°. Es versteht sich von selbst, daſs sie bei diesen Versuchen den Einfluſs des Thermometers und der Kugel nicht vergaſsen, deren specifische Wärmecapacitäten sie durch Vergleichung mit Kupfer bestimmten, dessen specifische Wärme = 0,095 gegen Wasser als genau aufgefunden gelten kann. Zur Berechnung bedienten sie sich der bekannten Formel. Ist c die gesuchte Wärmecapacität der Substanz, p ihr Gewicht, c' die specifische Wärme des Kupfers und p' dessen Gewicht, MC das Product der Masse in die Wärmecapacität der goldenen Kugel, des Glases und des Quecksilbers, welche zum Apparate gehörten, ist ferner t die Zeitdauer des Erkaltens in Secunden, wenn die Kugel mit derjenigen Substanz erfüllt ist, deren specifische Wärme c und deren Gewicht p ist, t' dagegen die Zeit des Erkaltens um gleiche Grade, wenn sie mit Kupfer erfüllt ist, so hat man

$$\frac{MC + pc}{MC + p'c'} = \frac{t}{t'}, \text{ also } MC = \frac{p'c't - pct'}{t' - t},$$

worin c bekannt seyn muſs, was man finden kann, wenn MC bekannt ist.

Unter den untersuchten Substanzen, deren specifische Wärmecapacitäten in der angehängten Tabelle aufgezeichnet sind, verdient hauptsächlich der Kohlenstoff eine nähere Betrachtung, dessen specifische Wärme von den verschiedenen Beobachtern sehr abweichend angegeben wird, obgleich eine richtige Bestimmung derselben zur Prüfung des Dülong'schen Gesetzes sehr wichtig wäre. Gegen den Einfluſs der Wasserdämpfe in der kupfernen Abkühlungskugel, welcher so leicht Fehler herbeiführen kann und daher nach Regnault die ganze Methode unsicher macht, glauben Delarive und Marcet sich genügend gesichert zu haben, weniger leicht schien es ihnen aber, den Einfluſs des ungleichen Leitungsvermögens der untersuchten Substanzen zu beseitigen, den sie hauptsächlich auch bei der Kohle wahrzunehmen glaubten. Ihre Bestimmung der spe-

cifischen Wärme derselben $=0,165$ wich bedeutend von der durch REGNAULT gefundenen $=0,25$ ab; sie stellten daher neue Versuche mit sehr reiner, aus Candiszucker bereiteter und fest eingestampfter Kohle an, erhielten aber ein noch geringeres Resultat $=0,14$. Es glückte ihnen indeſs, durch groſse Mühe und mit bedeutenden Kosten eine hinlängliche Menge Diamantstaub anzuschaffen, und ein glücklicher Zufall gestattete dann bei den Versuchen eine leichte und unmittelbare Vergleichung mit Kupfer. Die goldene Kugel mit dem Thermometer für sich wog 4,338 Gramm, mit Diamantstaub angefüllt wog sie 10,717 Gramm, mit Kupferfeilig angefüllt 12,343 Gramm. Die Erkaltung von 11° bis 3° C. dauerte beide Male 1223 Secunden. Hiernach war also in der Formel für

$$c = \frac{(MC + p'c')\frac{t}{t'} - MC}{p},$$

$t = t'$, und sie verwandelte sich daher in

$$c = \frac{p'c'}{p},$$

woraus sie $c = 0,1192$ erhielten. Hiernach halten sie es für fraglich, ob nicht die Ungleichheit der erhaltenen Resultate eine Folge aufgenommener Gase, namentlich des Wasserstoffs sey, welches die Kohle so begierig absorbirt, und ob die Kohle überhaupt in ihrem verschiedenen Aggregatzustande die nämliche Wärmecapacität beibehält.

438) Es war bereits wiederholt davon die Rede, daſs die Wärmecapacität der Körper nicht bei allen Temperaturen dieselbe sey. Der Erste, welcher diese Frage mehr in Anregung brachte und mit der Theorie über das Verhalten der Wärme überhaupt zu vereinigen, als durch genügende Versuche zu beantworten suchte, war DALTON[1]. Da aber die Bestimmungen der specifischen Wärme an sich zu den schwierigern Aufgaben gehören und die Unterschiede bei verschiedenen Temperaturen nicht eben groſs, also auch nicht leicht genau zu ermitteln sind, so geschah im Ganzen nicht viel zur Erledigung dieser Aufgabe. Inzwischen haben wir gesehn (§. 411), daſs GAY-

1 Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissensch. Th. I. S. 58.

Lussac die specifische Wärme der Gase bei höheren Temperaturen grösser fand, als bei niedrigern, in Beziehung auf tropfbare Flüssigkeiten wurde diese Frage vielfach erörtert (§. 421), als zuverlässiges Resultat, wonach allerdings beim Wasser, und somit höchst wahrscheinlich bei allen tropfbar-flüssigen Körpern, die specifische Wärme gleichfalls mit der Zunahme der Temperatur wächst, ist nur das durch Neumann gefundene zu betrachten; in weit grösserem Umfange ist aber für feste Körper dieses eigenthümliche Gesetz genügend erwiesen worden. Dulong und Petit[1] bedienten sich hierzu der Methode der Mischungen, wählten einige nicht zu leichtflüssige Metalle, denen sie zur Gewinnung einer grösseren Oberfläche die Form platter Ringe von 1 bis 3 Kilogramm Gewicht gaben, erhitzten sie, wenn ihre Wärme nur bis zum Siedepuncte reichen sollte, in Wasser, für höhere Temperaturen aber in Quecksilber, und wenn sie durch letzteres angegriffen wurden, in einem Bade von Oel, wobei die anhängende Flüssigkeit mit in Rechnung gebracht wurde. Die zum Eintauchen bestimmte Masse war jederzeit sehr grofs, so dafs eine Temperaturerhöhung von etwa 5° bis 6° C. über die der Umgebung erzeugt wurde; die Messung geschah mit einem Thermometer, woran sich noch 0°,01 unterscheiden liefs, und der Einflufs des sehr dünnen, auf drei Spitzen ruhenden Gefäfses von Weifsblech wurde mit in die Berechnung aufgenommen. Aufserdem war dasselbe (nach Rumford's Methode) entweder vor dem Experimente so viel kälter, als seine Temperatur nach demselben die der äufseren Umgebung übertraf, oder es hatte diese Temperatur der Umgebung gleich anfangs, und der geringe Einflufs der Strahlung ward nach derjenigen Gröfse corrigirt, welche sich aus Versuchen über die freie Erkaltung desselben ergab. Die ersten Versuche betrafen das Eisen, welches sich wegen seiner grofsen Capacität am meisten hierzu eignete. Hierbei fanden sie aus mehrmals wiederholten Versuchen im Mittel:

die Capacität	des	Eisens	von	0°	bis	100°	C.	=	0,1098
—	—	—	—	—	0	—	200	— =	0,1150
—	—	—	—	—	0	—	300	— =	0,1218
—	—	—	—	—	0	—	350	— =	0,1255.

Auf gleiche Weise fanden sie die mittlere

1 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 144.

	Capacität von 0° bis 100°	Capacität von 0° bis 300°
für Quecksilber	0,0330	0,0350
— Zink	0,0927	0,1015
— Antimon	0,0507	0,0549
— Silber	0,0557	0,0611
— Kupfer	0,0949	0,1013
— Platin	0,0355	0,0355
— Glas	0,1770	0,1900

Es mufs hierbei noch bemerkt werden, dafs die Temperaturen mit dem Quecksilberthermometer gemessen und nicht auf das Luftthermometer reducirt wurden[1].

Schitko[2] hat in einer ausführlichen, der Beachtung allerdings werthen Abhandlung nicht blofs die specifischen Wärmecapacitäten der Körper, sondern die Gesammtmenge der Wärme, die sie aufnehmen, um von einer niederen Temperatur zu einer höheren überzugehen, auch mit Rücksicht auf denjenigen Antheil, der dabei gebunden wird, zu bestimmen gesucht. Die ganze Untersuchung hier zu berücksichtigen dürfte nicht zweckmäfsig seyn, denn sie führt auch dahin, die *Grade der Thermometer* nicht nach der Gröfse der Ausdehnung der jedesmaligen thermoskopischen Substanz, sondern nach der eigentlichen, hierzu erforderlichen Wärmemenge zu bestimmen. Es darf aber hier nicht unbemerkt bleiben, dafs auch aus diesen Untersuchungen eine mit den Zunahmen der Temperaturen wachsende Wärmecapacität hervorgeht. Blofs für drei Körper, Quecksilber, Eisen und Glas, hat er folgende Tabelle berechnet.

Temperaturen	Wärmecapacität Quecksilber	Eisen	Glas
0°C. .	0,0320	0,1100	0,1740
1 . . .	0,0320	0,1100	0,1741
20 . . .	0,0321	0,1106	0,1750
40 . . .	0,0322	0,1112	0,1759
60 . . .	0,0323	0,1116	0,1766
80 . . .	0,0323	0,1120	0,1772
100 . . .	0,0324	0,1124	0,1778
200 . . .	0,0326	0,1136	0,1798
300 . . .	0,0328	0,1145	0,1811

1 Vergl. *Thermometer*. Bd. IX. S. 954.
2 Wiener Zeitschrift Th. VI. S. 138 ff.

Von den niedrigsten bis zu den höchsten Temperaturgraden, wie es bei keinem andern Körper möglich ist, hat Pouillet[1] die specifische Wärme des Platins bestimmt. Hierzu bediente er sich einer 178 Gramm schweren Platinkugel, die in einem Platintiegel erhitzt und schnell nach der Methode der Mischungen ins Wasser geworfen wurde. So fand er die mittlere specifische Wärme des Platins, die des Wassers = 1 gesetzt,

für 100° C.	=	0,03350	für 500° C.	=	0,03518
— 200 —	=	0,03392	— 600 —	=	0,03560
— 300 —	=	0,03434	— 700 —	=	0,03602
— 400 —	=	0,03476	— 800 —	=	0,03644

439) Wir müssen hier noch einmal die Frage über das *Verhältniſs der specifischen Wärmecapacitäten der Körper zu ihren Atomgewichten*, die schon oft gelegentlich erwähnt wurde, zur genaueren Untersuchung bringen. Dulong und Petit waren diejenigen, welche das angegebene Gesetz (§. 426) aus ihren Versuchen mit festen Körpern ableiteten; man wandte es seitdem auch auf gasförmige und tropfbar-flüssige an und fand es bald bestätigt, bald widerlegt. Unter die, wenn nicht bedeutendsten, doch entschiedensten Gegner desselben gehört auch Potter[2], welcher es den französischen Gelehrten zum Vorwurf macht, daſs sie beim Auffinden so bedeutender Abweichungen ihrer Resultate von denen, welche ihre Vorgänger, namentlich die Engländer, erhalten hatten, nicht die von den Letzteren angewandte Methode wieder wählten, und den Grund der auffallenden Unterschiede auszumitteln suchten. Aus seinen eigenen Versuchen (§. 436) schlieſst er, daſs das aufgestellte Gesetz ganz unzulässig sey, welches Dalton bloſs bei den einfachen Gasen entdeckt und zu voreilig auf alle Körper ausgedehnt habe. Das Gesetz, wonach die Atome aller einfachen Körper gleiche Wärmecapacität haben sollen, passe zwar auffallend für Metalle, jedoch mit Ausnahme des Silbers, und könne daher nicht für ausgemacht gelten, so lange diese Ausnahme statt finde; auſserdem aber hätten Dulong und Petit diejenigen Bestimmungen der Atomgewichte gewählt, die für ihre An-

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 571. Vergl. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014.

2 Edinburgh Journal of Science. New Ser. N. IX. p. 75.

sicht paſsten, und zugleich hätten sie von den durch Berzelius angegebenen Bestimmungen in vielen Fällen ½, in andern ¼ und ⅛ genommen. Er berechnet ferner nach dem aufgestellten Gesetze die Atomgewichte unter der Voraussetzung, daſs das Hydrogen = 1, das Ogygen aber 7 betrage, und dann zeigt sich allerdings eine groſse Menge auffallender Abweichungen, doch scheint mir diese Fundamentalbestimmung nicht geeignet, den von Potter aufgestellten Widerspruch genügend zu begründen. Gegen ihn erklärt sich James F. W. Johnston[1], macht ihm aber den ungerechten Vorwurf, daſs er die alte Methode der Mischung statt der neuen der Abkühlung gewählt habe; denn obgleich jene die ältere ist, so folgt hieraus nicht, daſs sie die schlechtere sey, vielmehr ergeben die beigebrachten Messungen, namentlich von Neumann, daſs durch dieselbe allerdings genügende Resultate zu erhalten sind, die auch Potter gefunden haben würde, wenn er die gehörige Vorsicht angewandt hätte. Daſs dieses nicht geschehen sey, geht evident aus den bedeutend abweichenden Resultaten hervor, die er durch die beiden einander entgegengesetzten Verfahrungsarten erhielt, indem er einmal das Wasser, das andere Mal den einzutauchenden Körper erhitzte. Uebrigens zeigt sich die Abweichung der durch Potter gefundenen Gröſsen von denen, die durch Dulong und Petit angegeben worden sind, nur bei Gold, Silber und Wismuth, und in dieser Beziehung bemerkt Johnston richtig, daſs die von ihm gebrauchten englischen Goldmünzen $\frac{1}{12}$ Silber oder Kupfer und die silbernen $\frac{11}{1000}$ Kupfer enthielten, wonach also die gefundenen Bestimmungen an sich zu verwerfen sind. Für Wismuth stimmen beide durch Potter gefundene Bestimmungen unter sich genau überein, es läſst sich also nicht sofort ermitteln, ob diese oder die durch Dulong und Petit gefundenen die richtigen sind[2]. In Beziehung auf den Vorwurf, daſs diese Gelehrten unrichtige Bestimmungen der Atomgewichte gewählt hätten, welcher sich auf die Autorität Dalton's stütze, macht Johnston geltend, daſs seit der Zeit dieses allerdings sehr achtungswerthen Forschers weit genauere Bestimmungen gefunden worden seyen, die von denen wenig abweichen, deren sich die

1 Edinburgh Journal of Science. New Ser. N. X. p. 265.

2 In der angehängten Tabelle sind die verschiedenen Werthe neben einander gestellt.

nzösischen Gelehrten bedienten. Ganz unzulässig sey aber s Verhältniss des Sauerstoffs zum Wasserstoff = 7 : 1, da ch Thomson[1] vielmehr 16 : 1 als der Wahrheit mindestens chst nahe kommend gelten müsse. Endlich zeigt Johnston, ſs die durch Potter erhaltenen Wärmecapacitäten sich sehr ohl mit dem aufgestellten Gesetze vereinigen lassen, ausgenommen bei Silber, Gold und Wismuth, allein die ersten bein Bestimmungen seyen aus den angegebenen Gründen unzurlässig, und so dürfe auch die letztere so angesehen werden. eser Schluss kann aber unmöglich gelten, denn auf Wisuth passen die in Beziehung auf Gold und Silber beigebrach- Einwendungen nicht; im Ganzen ist aber das, was über die gründung dieses Gesetzes vorgebracht wird, keineswegs beedigend, weil keine hinlänglich scharfe und sichere Bestimungen, weder der Atomgewichte, noch der specifischen Wärecapacitäten, zum Grunde gelegt werden. Für die Aufgabe an h unwichtig ist die Widerlegung, welche Potter[2] diesen m gemachten Einwürfen entgegensetzt, worin er seine Gegr der Unkenntniſs der Sache beschuldigt, sofern ihm entgann sey, daſs die französischen Gelehrten keineswegs die Meode der Mischungen für unzuverlässig erklären, und daſs die wählten Bestimmungen der Atomgewichte von Berzelius rühren. Wichtiger dagegen ist, daſs Potter sich durch die, enn auch nicht genügende, Kritik zu einer abermaligen, sehr sführlichen Reihe von Versuchen bewogen fühlte, wobei er e früher gemachten Erfahrungen und die erlangte Fertigkeit s Experimentirens benutzte. Er glaubte sich überzeugt zu ben, daſs die Anwendung metallener Wassergefässe leicht zu thümern führe, und er wählte daher ein inneres Gefäſs von gefirſstem Leinen, umgab dieses dicht anschlieſsend mit einer wollenen, artig gewebten Umgebung, und setzte es so in ein zur Aufnahme rade hinlänglich weites irdenes Gefäſs. Die Menge des Wasrs, welches dieser Apparat aufnahm, betrug ungefähr 3500 ains. Die beiden früheren Verfahrungsarten behielt er bei, dem er entweder die Metalle bis 100° C. erwärmte und in 'asser von mittlerer Temperatur tauchte, oder die Metalle von ittlerer Temperatur, das Wasser dagegen bis ungefähr 44° C.

1 History of Chemistry. T. II. p. 297.
2 Edinburgh Journ. of Science. New Ser. N. XI. p. 163.

erwärmt anwandte; die Resultate stimmten so genau überein, dafs z. B. für Wismuth im Mittel aus 3 Versuchen nach den ersten Verfahren 0,03216 und aus 3 Versuchen nach dem zweiten Verfahren 0,03260 erhalten wurde, wobei der kleinste Werth 0,0316, der gröfste aber 0,0339 betrug. Die Menge des Wassers war überhaupt gering und betrug nach der Beschaffenheit der zu untersuchenden Metalle im Maximum ¼, im Minimum ⅙ vom Gewichte des eingetauchten Metalles. Lobenswerth ist endlich die öftere Wiederholung der Versuche, und die erhaltenen Resultate können daher zu den genauesten gerechnet werden, die wir über die von ihm untersuchten Metalle besitzen. Da bei diesen Versuchen vorzüglich beabsichtigt wurde, das durch Dulong und Petit aufgefundene Gesetz zu prüfen, so scheint es am zweckmäfsigsten, die mittleren Resultate nebst denen, die von diesen Gelehrten gefunden worden sind, und das Product der durch Potter gefundenen Capacitäten in die Atomgewichte, das des Sauerstoffs = 8 angenommen, neben einander zu stellen, wobei wir die von Potter gemachte Bemerkung nicht verschweigen wollen, wie es ihm aufgefallen sey, dafs Dulong und Petit nach beiden von ihnen angewandten Methoden die specifischen Wärmecapacitäten für Kupfer, Silber und Zink bis zur vierten Decimalstelle identisch fanden, was allerdings kaum im Bereiche der Möglichkeit liegt.

Metalle	Spec. Capacitäten nach Potter	Spec. Capacitäten nach Dulong	Atomgewichte.
Eisen	0,113	0,1098	27,4
Kupfer . . .	0,096	0,0949	32,2
Zink	0,094	0,0927	32,9
Silber	0,059	0,0557	52,5
Zinn	0,056	0,0514	55,3
Antimon . .	0,052	0,0507	59,6
Gold	0,034	0,0298	91,1
Quecksilber .	0,033	0,0330	93,9
Wismuth . .	0,033	0,0288	93,9
Blei	0,032	0,0293	96,8

440) Diese Uebersicht zeigt zuerst, dafs man die Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten zu einem sehr hohen Grade der Genauigkeit bringen könne, wenn man sich durch den hierzu erforderlichen Aufwand von Mühe und Zeit nicht abschrecken läfst; denn die hier mitgetheilten, durch zwei verschiedene Methoden und von zwei Experimentatoren erhal-

tenen, Werthe stimmen sehr nahe mit einander überein und müſste einer von beiden Reihen der Vorzug zugestanden werden, so würde ich ihn unbedenklich der durch Potter gegebenen zuwenden. Wir haben hierin also zweitens eine sehr gute Grundlage, um das aufgestellte Gesetz zu prüfen. Nach Dulong's Gesetze ist das Product der specifischen Wärme in die Atomgewichte eine constante Gröſse, oder S A = C, wenn S die specifische Wärme, A das Atomgewicht und C die constante Gröſse bezeichnen (§. 426), mithin ist das Atomgewicht $A = \frac{C}{S}$. Als constante Gröſse nimmt Potter die Zahl 31 an, deren Division durch die gefundenen Wärmecapacitäten dann die in der Columne angegebenen Atomgewichte bezeichnen. Potter meint, daſs diese, mit 2 multiplicirt, den durch Berzelius gefundenen Bestimmungen der Atomgewichte sehr nahe kommen, doch giebt es einige, die fast genau um $\frac{1}{4}$ abweichen, und bei Wismuth ist keine Uebereinstimmung vorhanden. Ferner glaubt er, daſs Dulong und Petit das Quecksilber und Antimon aus ihrer ersten Tafel weggelassen hätten, weil beide mit ihrer Hypothese nicht übereinstimmten. Hieraus glaubt er folgern zu müssen, daſs das aufgestellte Gesetz, wonach also auch die Atome aller einfachen Körper genau die nämliche Wärmecapacität haben müſsten, die Prüfung nicht aushalten würde. Für Gold, Antimon, Wismuth und vielleicht auch Kupfer sey es nicht wohl paſslich, für Silber aber offenbar unzulässig; denn seine einzige Oxydationsstufe und seine Verbindung mit Chlor zeigten evident, daſs sein Atomgewicht doppelt so groſs seyn müsse, als aus dem angegebenen Gesetze folge. Hiernach glaubt Potter, daſs sich folgendes *Gesetz* wohl rechtfertigen lasse: *die Wärmemenge, welche einfache Körper abgeben, wenn sie von einer gegebenen Temperatur zu einer geringeren herabgehen, ist entweder der Zahl der Atome in ihren Massen proportional, oder steht zu dieser in einem einfachen Verhältnisse*, wobei er übrigens die groſsen Schwierigkeiten nicht verkennt, die der Feststellung irgend eines Hauptsatzes über die Atome der Körper und die ihnen eigenthümlich zugehörige Wärme im Wege stehen.

441) Eine groſse und wichtige Abhandlung über dieses Problem ist die von Avogadro[1]. Zu seinen Versuchen be-

---

1 Brugnatelli Giorn. Dec. II. T. IX. p. 16, 85, 274, 305: Sulla

diente er sich eines cylindrischen Gefäſses von dünnem Messingblech mit einem Ringe an seinem oberen Rande, auf welchem nach zwischengelegtem geöltem Leder mittelst dreier Schrauben eine Platte festgeschraubt wurde, um jeden Zutritt der Luft oder des Wassers von auſsen abzuhalten. Dieser zur Aufnahme der zu untersuchenden Substanzen bestimmte Cylinder ward in ein gröſseres Gefäſs von Messing gesenkt, welches das zu erwärmende Wasser enthielt, dessen Wärme, gleichend der der äuſseren Luft, mittelst eines geeigneten Thermometers gemessen wurde. Es versteht sich von selbst, daſs beide Gefäſse nebst dem Thermometer, nach ihrer Wärmecapacität auf Wasser reducirt, mit in Rechnung kamen. Das mit den gepulverten und gewogenen Substanzen gefüllte Gefäſs erhielt die erforderliche Wärme durch langes Eintauchen in siedendes Wasser; das Herausnehmen desselben mit einer Pincette und das Einsenken in das Meſsgefäſs geschah zur Verhütung eines Wärmeverlustes möglichst schnell, und dann wurde die erzeugte Erwärmung des Wassers von Minute zu Minute aufgezeichnet, bis nach etwa 8 oder 10 Minuten das Maximum eintrat. Die hierdurch erhaltenen einfachen Resultate erhielten noch die erforderlichen Correctionen wegen des Wärmeverlustes des kleinen Gefäſses während der kurzen Zeit zwischen dem Herausnehmen und dem Wiedereinsenken in das Meſsgefäſs, wegen der Wärmeabgabe des letzteren an die äuſsere Umgebung und endlich wegen eines Wärmeüberschusses des kleinen Gefäſses über die Temperatur des zum Einsenken dienenden Wassers im Augenblicke, wo dieses das Maximum angenommen hatte. Die Formeln zur Correction des Wärmeverlustes durch Strahlung waren auf das *Newton'sche Gesetz* (§. 238) gegründet, inzwischen entwickelte Avogadro auch andere analytische Ausdrücke aus directen Messungen der Wärmeverluste beider Gefäſse in gegebenen Zeiten; die Resultate beider wichen aber nur um Hundertstel eines Centesimalgrades von einander ab. Endlich kam

---

densità de' corpi solidi e liquidi paragonata colla massa delle loro molecole e coi loro numeri affinitarii. Die eigentliche Abhandlung in Memorie della Società Italiana delle Scienze residente in Modena T. XX. Fasc. 2. Im Auszuge in Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 80. Vergl. Biblioteca Italiana 1816. Dec. 1817 Gennajo. Memorie della Soc. Ital. T. XIX.

noch die Sorgfalt hinzu, die Substanzen, wenn sie keine Hydrate waren, von jedem aufgenommenen Wasser frei zu halten. Die erhaltenen Resultate finden sich in der unten angehängten Tabelle, und es möge hier nur bemerkt werden, dafs Avogadro auch die specifische Wärme des Eises mindestens annäherungsweise auffand, indem er das kleine Gefäfs mit Eis füllte und die Erkältung mafs, welche es bei einigen Graden unter dem Gefrierpuncte des Wasser in dem äufseren, mit Weingeist erfüllten Gefäfse hervorbrachte, die er dann mit der Wärme verglich, welche dasselbe Gefäfs, mit einer gleichen Quantität Wasser bis auf eine gleiche Menge von Graden über 0°C. gefüllt, in dem nämlichen Weingeiste erzeugte. Das Resultat im Mittel aus mehreren Versuchen war 0,92.

442) Die Meinung Avogadro's über das Verhältnifs der Atomgewichte zu den Wärmecapacitäten klar und obendrein noch kurz anzugeben ist in der That nichts weniger als leicht, eine eigentliche Prüfung würde aber einen unverhältnifsmäfsigen Aufwand von Mühe erfordern, um zu ermitteln, ob die zahlreichen Abänderungen bestehender Bestimmungen, die er sich erlaubt, um seine Hypothesen mit sich selbst in Einklang zu bringen, mit den stöchiometrischen Gesetzen vereinbar sind. Im Wesentlichen nimmt Avogadro als erwiesen an, dafs das *Dulong'sche Gesetz*, wonach das Product der Wärmecapacitäten in die Atomgewichte der einfachen Körper eine constante Gröfse und zwar = 37,53 sey, als zuverlässig erscheine, und seine Untersuchungen beziehen sich daher zunächst nur auf die zusammengesetzten Körper. Anfangs beschränkte er sich auf die Gase, und stellte darüber das *Gesetz* auf: dafs die specifische Wärme der zusammengesetzten Gase, gleiche Volumina vorausgesetzt, durch die Quadratwurzel der ganzen oder gebrochenen Zahl der Volumina der einfachen Gase ausgedrückt werden kann, die sich zur Bildung eines Volumens des zusammengesetzten Gases vereinigen, wenn als Einheit der specifischen Wärmen die eines gleichen Volumens eines der einfachen Gase gilt. Hiernach muss also für die Kohlensäure und das Stickstoffoxydul, bei denen jedes Volumen aus einem Volumen des einen und aus einem halben Volumen des andern der zusammensetzenden Gase besteht, die specifische Wärmecapacität $= \sqrt{1,5} = 1,225$, für Kohlenoxydgas, welches aus einem halben Volumen jedes der zusammensetzenden Gase be-

steht, $= \sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}} = \sqrt{1} = 1$, die des ölerzeugenden Gases, wobei zwei Volumina des einen sich mit einem Volumen des andern verbinden, $= \sqrt{3} = 1{,}732$ seyn. In Gemäſsheit der Versuche von Dulong und Petit soll ein ähnliches, oder vielmehr ein gleiches, Gesetz auch bei festen Körpern statt finden, daſs nämlich die specifische Wärme eines Atoms eines zusammengesetzten Körpers gleich sey der Quadratwurzel aus der ganzen oder gebrochenen Zahl, welche die Atome oder deren Theile ausdrückt, die sich zur Bildung dieses zusammengesetzten Körpers vereinigen, so wie er sich entweder im festen oder tropfbaren Zustande befindet, indem man zur Einheit diejenige specifische Wärme nimmt, welche einem Atome eines der einfachen Körper in demselben Zustande angehört. Daſs die Durchführung dieses Gesetzes Schwierigkeiten habe, insbesondere da die Atome in den flüssigen und festen Körpern mit denen in gasförmigen nicht genau vergleichbar seyen, gesteht er zu, inzwischen habe ihn die Untersuchung über die Bestimmung der Atomgewichte einfacher Körper dahin geführt, mindestens wenn sie sich im Zustande der Festigkeit und der Flüssigkeit befinden, sie in Beziehung auf ihre specifische Wärmecapacität auf die Hälfte der Gröſsen zurückzuführen, die ihnen Berzelius gegeben hat, und diese sollen dann *thermische Atome* heiſsen. Man begreift eigentlich nicht wohl, was hierdurch erzielt werden soll; denn da die Gröſse oder das Gewicht der Atome ohnehin nicht absolut, sondern nur relativ ist, so können auch keine verschiedenen Resultate hervorgehn, wenn man bei allen die angegebene Gröſse halbirt. Man ersieht dann aus dem Nachfolgenden, daſs ein Atom Sauerstoff oder vielmehr die Wärmecapacität eines solchen Atoms $= 0{,}375$ seyn soll, die eines Atoms Wasser als Einheit angenommen[1]; die specifische Wärme des Kohlenstoffs im festen Zustande ist aber auf diese nämliche Gröſse reducirt $= 0{,}25$, und $0{,}25 \times 0{,}764 = 0{,}191$, also sehr nahe die Hälfte von 0,375. Soll also der Coefficient auch auf Kohlenstoff anwendbar seyn, so muſs der durch Dulong und Petit gefundene halbirt werden, er leidet dann auch Anwendung auf Schwefel und die Metalle, und wenn man also die thermischen Atome der festen Körper, die des Sauerstoffs

1 Es muſs bemerkt werden, daſs dieses die bereits angegebene constante Zahl nach Dulong und Petit ist.

gleichfalls in fester Gestalt als Einheit angenommen, halbirt, so erhält man die durch Berzelius angegebenen Gröfsen. Statt des Coefficienten 0,375 wäre also 0,1875 anzunehmen, wonach die specifische Wärme des Kohlenstoffs $=\frac{0,1875}{0,764}=$ 0,245 wenig von der Erfahrung abweichend[1] gefunden wird. Um dieses noch durch einige der verschiedenen gegebenen Beispiele zu erläutern und zugleich die Anwendung des oben aufgestellten Gesetzes zu zeigen, wähle ich folgende Bestimmungen. Für das Protoxyd des Bleies, wenn das Atomgewicht des Metalles = 6,4725 angenommen wird, die des Sauerstoffs als Einheit vorausgesetzt, was dann die Hälfte der Bestimmung durch Berzelius ist, mufs das Atom des Oxydes = 3,236 + 0,25 = 3,486 seyn; die bestimmende Zahl hierbei ist 0,5 + 0,25 = 0,75, daraus die Quadratwurzel 0,866 und deren Product mit 0,1875 = 0,1624, welches durch 3,486 dividirt 0,0465 für die berechnete specifische Wärme, wenig abweichend von der beobachteten = 0,049 oder 0,05, giebt. Die Metalloxyde, welche nach Berzelius 1,5 Atom Sauerstoff auf 1 Atom Metall enthalten, haben nach Avogadro 0,75 Atom Sauerstoff auf 1 Atom Metall. Um drei von ihm untersuchten Körpern Genüge zu leisten, sollen ihre Atome im Zustande der Festigkeit aus $\frac{1}{4}$ Atom Metall und $\frac{3}{16}$ Atom Sauerstoff bestehn, wovon blofs die Alaunerde eine Ausnahme macht, die aus $\frac{1}{2}$ Atom Metall und $\frac{3}{8}$ Atom Sauerstoff bestehen mufs, um die Erfahrung mit der Theorie in Einklang zu bringen. Das Schwefeleisen soll aus $\frac{1}{2}$ Atom Metall und 1 Atom Schwefel bestehn, das Chlorcalcium und Chlornatrium, die nach Berzelius aus 2 Atomen Chlor und 1 Atom Metall bestehn, müfsten 1 Atom Chlor und 1 Atom Metall enthalten u. s. w. Die grofse, in diesen Bestimmungen herrschende, Willkür fällt von selbst in die Augen, eine allseitige genügende Prüfung der Hypothese dürfte aber auf jeden Fall hier nicht am geeigneten Orte seyn.

443) Eine weitere Ausführung dieses Gegenstandes bezieht sich vorzugsweise auf einige Resultate, welche Neumann aus seinen bereits erwähnten Versuchen entnommen hat, und die daher hier vorausgehen müssen. Dieser Gelehrte[2] ist der Mei-

1 Hierüber vergl. §. 437.
2 Poggendorff's Ann. XXIII. 32.

nung, dafs ein ähnliches Gesetz, als das durch Dulong und Petit für chemisch einfache Körper aufgestellte, auch für chemisch zusammengesetzte existire, sofern es sich um ein einfaches Verhältnifs zwischen der specifischen Wärme und der stöchiometrischen Quantität handelt. Stöchiometrische Quantitäten heifsen bei chemisch ähnlich zusammengesetzten oxydirten Körpern, z. B. bei den wasserlosen kohlensauren Salzen, solche Quantitäten, in denen eine gleiche Quantität Sauerstoff vorhanden ist; bei den mit Schwefel verbundenen Körpern ist dann der Schwefel das Mafs der stöchiometrischen Quantität. Andere Verbindungen wurden von ihm noch nicht untersucht, für die genannten aber stellt er folgendes Gesetz auf: „*es verhalten sich bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen die specifischen Wärmen umgekehrt wie die stöchiometrischen Quantitäten*, oder, was dasselbe ist, *die stöchiometrischen Quantitäten bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen besitzen gleiche Wärmecapacität.*“ Als Beispiele dienen folgende fünf kohlensaure Salze.

Substanzen	Stöchiometrische Quantität	Specif. Wärme beob.	Producte beider	Specif. Wärme ber.	Unterschied
Kalkspath .	$\dot{Ca}\ddot{C} = 6{,}32$	0,2044	1,292	0,2057	− 0,0013
Bitterspath .	$\frac{\dot{Ca}\ddot{C} + \dot{Mg}C}{2} = 5{,}88$	0,2161	1,271	0,2211	− 0,0050
Magnesitspath . . .	$\frac{7\dot{Mg}\ddot{C} + 2\dot{Fe}\ddot{C}}{9} = 5{,}75$	0,2270	1,305	0,2261	+ 0,0009
Spatheisenstein . . .	$\dot{Fe}\ddot{C} = 7{,}15$	0,1819	1,300	0,1819	0,0000
Galmei . . .	$\dot{Z}\ddot{C} = 7{,}79$	0,1712	1,335	0,1669	+ 0,0043
Mittelwerth			1,300		

In der stöchiometrischen Quantität ist die Sauerstoffmenge = 3 angenommen und mit dem Mittel aus dem Producte derselben in die beobachtete specifische Wärme = 1,3 ist nach dem angegebenen Gesetze die specifische Wärme berechnet. Die Unterschiede rühren wohl zum Theil daher, dafs die angenommene chemische Zusammensetzung nicht in ganzer Strenge statt findet, indem sich mehr oder weniger beigemengte Substanzen in den Mineralien befinden. Für wasserfreie schwefelsaure Salze dienen folgende Beispiele:

Substanzen	Stöchiometrische Quantität	Specif. Wärme beob.	Producte beider	Specif. Wärme berechnet	Unterschied
Schwerspath	$\dot{B}a\dddot{S}=14,58$	0,1068	1,557	0,1061	+ 0,0007
Anhydrit . .	$\dot{C}a\dddot{S}=\ 8,57$	0,1854	1,589	0,1804	+ 0,0050
Cölestin . .	$\dot{S}r\dddot{S}=11,48$	0,1300	1,492	0,1346	— 0,0046
Mittelwerth			1,546		

Da sich unter den von Neumann untersuchten Körpern auch eine Reihe von Oxyden befindet, bei denen 1 Antheil Metall mit 1 Antheil Sauerstoff verbunden ist, so wendet er das Gesetz auch auf diese an.

Substanzen	Stöchiometrische Quantität	Specif. Wärme beob.	Producte beider	Specif. Wärme berechnet	Unterschied
Talkerde . .	2,58	0,276	0,712	0,270	—0,006
rothes Quecksilberoxyd	13,66	0,049	0,671	0,051	—0,002
Zinkoxyd .	5,03	0,132	0,664	0,138	—0,006
Kupferoxyd	4,957	0,137	0,680	0,140	—0,003
Kalkerde[1] .	5,36	0,271	0,772	0,196	+0,021
Mittelwerth			0,697		

Als Beispiele geschwefelter Stoffe, bei denen 1 Theil Metall mit 1 Theil Schwefel verbunden ist, werden folgende zusammengestellt.

Substanzen	Stöchiometrische Quantität	Specif. Wärme beob.	Producte beider	Specif. Wärme ber.	Unterschied
Zinnober . .	14,66	0,052	0,762	0,052	0,000
Realgar . . .	6,71	0,130	0,872	0,113	+0,017
Bleiglanz . .	14,95	0,053	0,791	0,051	+0,002
Blende . . .	6,04	0,112	0,604	0,125	—0,013
Mittelwerth			0,757		

Drei untersuchte Oxyde, bei denen 2 Antheile Metall auf 3 Antheile Sauerstoff kommen, geben folgende Resultate.

1 Die Bestimmung der specif. Wärme ist von Lavoisier und Laplace.

Substanzen	Stöchiometrische Quantität	Specif. Wärme beob.	Producte beider	Specif. Wärme berechnet	Unterschied
Eisenoxyd .	9,78	0,1640	1,604	0,182	—0,018
Mennig . . .	28,89	0,0616	1,779	0,0615	+0,0001
Chromoxyd.	10,03	0,1960	1,963	0,177	—0,019
Mittelwerth	. . .	. . .	1,782		

Die überall sich zeigende, sehr genaue Uebereinstimmung der berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Werthe läfst an der Zulässigkeit des aufgestellten Gesetzes kaum zweifeln; Neumann verspricht aber, durch weitere Untersuchungen zu ermitteln, ob dasselbe allgemeine Gültigkeit hat oder Ausnahmen zuläfst.

444) Um die über die Wärmecapacitäten aufgestellten Gesetze strenger zu prüfen, unternahm Avogadro[1] die genaue Bestimmung derselben bei drei einfachen Körpern, dem Phosphor, Arsenik und Iod, und überging hierbei das Arsenik um so weniger, als auf dieses das Dülong'sche Gesetz nach Berzelius nicht anwendbar sein soll. Beim Phosphor bediente er sich der Methode der Mischung in der Art, dafs er in einer kalten Nacht denselben bis — 8° C. erkalten liefs und dann in Wasser von 8° C. Temperatur brachte. Aus zwei solchen Versuchen erhielt er im Mittel die specifische Wärme = 0,385; mit Anwendung der früher beschriebenen Methode erhielt er für Arsenik 0,081 und für Iod, welches er jedoch zur Vermeidung von Dampfbildung nicht bis zur Siedehitze des Wassers erwärmte, 0,082, durch ein abgeändertes Verfahren aber 0,089. Indem Avogadro mit diesen Bestimmungen die Atomgewichte dieser Körper in Einklang zu bringen sucht, gelangt er wirklich zu dem Resultate, dafs Dülong's Gesetz auch auf Arsenik pafst, und dafs nicht minder eine Uebereinstimmung zwischen den Atomgewichten dieser und einiger anderer Körper und den gefundenen Wärmecapacitäten hervorgeht, allein es sollen dann die wirklichen Atome Bruchtheile oder Vielfache derjenigen Gröfsen seyn, die durch Berzelius bestimmt worden sind. In einer weiteren Ausführung sucht er ferner zu zeigen, dafs auch die durch Neumann erhaltenen Bestimmungen, so wie das von diesem aufgestellte Gesetz, sehr wohl mit seiner eignen Hypo-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LVII. p. 113.

these harmonire, und wirklich stimmen auch die von ihm gefundenen Gröfsen ziemlich nahe mit den durch Erfahrung ermittelten überein, allein die Unterschiede sind doch immer noch gröfser, als sie billig seyn sollten, um eigentliches Vertrauen zu der aufgestellten Hypothese zu erwecken, und aufserdem ist die Theilung und die Vervielfachung der Atome, sofern diese vervielfachten wieder als einfach Verbindungen eingehn sollen, eine Voraussetzung, die zuvor einer genauen und eingreifenden Prüfung bedürfte. Um die Grenze der Uebereinstimmung zwischen den durch Beobachtung und Berechnung gefundenen Werthen genauer zu bezeichnen, möge die eine Reihe der Zusammenstellungen dienen.

Substanzen		Specifische Wärme beobachtet	berechnet	Unterschied
kohlensaurer	Kalk	0,2011	0,2058	+0,0047
—	Eisen	0,1819	0,1818	−0,0001
—	Zink	0,1712	0,1668	−0,0044
—	Baryt	0,1078	0,1055	−0,0023
—	Strontian	0,1445	0,1408	−0,0037
—	Blei	0,0814	0,0778	−0,0036
—	Kalk und Magnesia	0,2161	0,2230	+0,0069
—	Magnesia und Eisen	0,2270	0,2264	−0,0006

Eine eigentliche Entscheidung über die Zulässigkeit der Hypothese mufs denen überlassen bleiben, die mit der Aufgabe im Ganzen innig vertraut sind.

445) Handelt es sich endlich um eine definitive Feststellung des Verhältnisses zwischen den Wärmecapacitäten und den Atomgewichten der Körper, so mufs man sich vorerst wohl noch auf das durch Dulong und Petit aufgestellte *Gesetz* beschränken, wonach bei einfachen Körpern das Product der specifischen Wärmecapacitäten in die Atomgewichte eine constante Gröfse, also $SA = C$ seyn soll, wenn S die specifischen Wärmecapacitäten, A die Atomgewichte oder die relativen Gröfsen der Atome bezeichnen und C eine durch die Multiplication beider hervorgehende beständige Gröfse ist. Letztere ist aus den anfänglichen Versuchen, die zur Aufstellung des genannten Gesetzes Veranlassung gaben, im Mittel = 0,3753 angenommen worden; sie könnte auch eine andere seyn, die im Mittel aus der Gesammtsumme der durch genaue Versuche gefundenen specifi-

schen Wärmecapacitäten aller einfacher Körper und ihrer genügend festgestellten Atomgewichte hervorginge; es dürften sich allerdings Abweichungen zeigen, da selten das Resultat irgend eines Versuches für absolut genau gelten kann, allein die Unterschiede dürften nicht so groſs sein, daſs sie die wahrscheinlichen Fehlergrenzen überstiegen. Aus den vorausgehenden ausführlicheren Mittheilungen der vorzüglichsten Untersuchungen dieses Problems geht hervor, daſs dieses Gesetz von vielen vertheidigt wird, zu denen namentlich auch Baedow[1] gehört, von anderen aber angefochten. Für die Metalle soll dasselbe mit Ausnahme des Antimons und Arseniks, gültig sein, und eigentlich ist auch nur für jene die angegebene beständige Gröſse = 0,3753 durch Dulong und Petit festgesetzt worden.

446) Kommen zuerst die *Gase* in Betrachtung, so sind zwar die für die drei einfachen unter ihnen, das Sauerstoffgas, Stickgas und das Wasserstoffgas, von den verschiedenen Experimentatoren gefundenen Wärmecapacitäten nicht absolut gleich, allein wenn man die groſsen Schwierigkeiten berücksichtigt, denen diese Versuche unterliegen, so darf man wohl die Abweichungen als Folgen unvermeidlicher Beobachtungsfehler betrachten. Dieses vorausgesetzt geben gleiche Volumina derselben unter gleichem Drucke gleiche Wärmemengen, wie aus der Uebereinstimmung der durch die sorgfältigsten Messungen erhaltenen Resultate hervorgeht, und da ihre Dichtigkeiten sich umgekehrt verhalten, wie ihre Volumina, und direct wie ihre Atomgewichte, so geht das aufgestellte Gesetz hieraus von selbst hervor. Dieses ist daher auch die Ansicht von Delarive und Marcet[2], welche durch ihre neuesten Versuche die Thatsache bestätigt fanden, daſs gleiche Volumina der einfachen Gase unter gleichem Drucke gleiche specifische Wärme haben, und nicht minder ist dieses bei solchen zusammengesetzten der Fall, die bei ihrer Verbindung das Volumen nicht ändern, z. B. bei atmosphärischer Luft. Auf andere zusammengesetzte Gase aber, als namentlich ölerzeugendes Gas und Kohlensäure, leidet dieses Gesetz keine Anwendung. Im Ganzen, bemerken diese Gelehrten, dürfe man sich nicht auf die Gase allein beschränken, wenn

---

1 Ueber das Verhältniſs d. specif. Wärme zum chemischen Mischungsgewicht. Berl. 1838.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 113.

man das Verhältnifs der specifischen Wärmecapacitäten zu den Atomgewichten, hauptsächlich mit Rücksicht auf den Aggregatzustand der durch sie gebildeten Körper, den gasförmigen, tropfbar-flüssigen und starren, aufzufinden suche; es sey die Zahl der einfachen gasförmigen zu gering, als dafs man hierauf allein ein physikalisches Gesetz bauen könne. Wenn aber auch das Gesetz bei den einfachen Gasen den vorhandenen Erfahrungen gemäfs als zulässig erscheinen mufs, so darf dabei nicht übersehn werden, dafs diese sämmtlich den nämlichen Aggregatzustand nicht blofs haben, sondern auch, soweit es diese Aufgabe betrifft, unverändert beibehalten. Ganz anders aber verhält sich die Sache, wenn solche Körper in Betrachtung kommen, die ihren Aggregatzustand ändern, wie Poggendorff[1] sehr richtig bemerkt hat. Zuerst ändert sich namentlich bei starren Körpern, für welche das Gesetz ursprünglich aufgestellt ist, das Verhältnifs ihrer Wärmecapacitäten mit der Temperatur, während das ihrer Atomgewichte beständig bleibt. Zweitens aber haben alle Gase eine gleiche Ausdehnung durch Wärme, das aufgefundene Gesetz mufs daher für sie bei allen Temperaturen gültig seyn, wenn es für eine einzige erwiesen ist, in Beziehung auf starre Körper könnte dieses aber nur statt finden, wenn das Verhältnifs zwischen ihren Dichtigkeiten im starren und im gasigen Zusande dasselbe wäre. Dafs Letzteres nicht der Fall sey, beweisen unter andern die specifischen Gewichte des Iods und des Quecksilbers in diesen beiden Zuständen, und überhaupt giebt es mehrere einfache Körper, welche beim Uebergange aus dem starren in den gasigen Aggregatzustand ihr Volumen auf sehr ungleiche Weise ändern. Poggendorff hält es aber für entschieden, und darin wird man ihm wohl allgemein beistimmen, dafs eine Volumenverschiedenheit mit einer entsprechenden Verschiedenheit der specifischen Wärmecapacitäten verbunden sey, und dafs daher die specifischen Wärmecapacitäten zweier Körper, die für den gasförmigen Zustand gleich sind, für den starren nur Multipla von einander seyn können; die Wärmecapacitäten müssen daher für gleiche Aggregatzustände der Körper durch die Erfahrung aufgefunden und mit einander verglichen werden, können aber den Chemikern nicht als sicheres Mittel zur Bestimmun g der Atomgewichte dienen.

1 Dessen Annalen Th. XIX. S. 125. Anm.

Vor allen Dingen ist erforderlich, die Gröfsen der Atomgewichte möglichst genau festzustellen, eine Aufgabe, die noch nicht mit absoluter Vollständigkeit gelöst zu seyn scheint. Nicht minder wichtig ist eine genaue Bestimmung der specifischen Wärmecapacitäten, weswegen auch Delarive und Marcet, deren bedeutende Leistungen in diesem Gebiete oft mit gebührendem Beifalle erwähnt worden sind, sich zum Ziele gesetzt haben, diese für eine möglichst grofse Menge einfacher und zusammengesetzter Körper aufzufinden. Dafs nach dem, was bis jetzt in dieser Beziehung geleistet wurde, das durch Dulong und Petit aufgestelle Gesetz für die einfachen Gase allerdings gültig sey und zugleich auf eine grofse Zahl einfacher fester Körper Anwendung leide, auf andere aber aus noch unbekannten Gründen nicht passe, ist bereits oben[1] erwähnt worden, und wir fügen daher, aufser dem, was gelegentlich bei der Mittheilung der einzelnen Versuche erwähnt wurde, nur noch dasjenige hinzu, was neuerdings durch Marcet und Delarive[2] in Beziehung auf dieses Problem geschehn ist. Sie bestimmten unter andern die Wärmecapacitäten des Cadmium, Selen, Molybdän und Scheel, und fanden ihre Resultate mit dem Dülong'schen Gesetze sehr wohl übereinstimmend, wozu der Umstand viel beitrug, dafs die gebrauchten Substanzen sehr rein waren, weil namentlich die Anwesenheit einer auch nur kleinen Quantität Kohle einen bedeutenden Einflufs hat. Wie wichtig dieses sey, zeigt unter andern das Kobalt, wofür Dulong und Petit die Wärmecapacität = 0,1498 fanden, die sie mit ihrem Gesetze für unvereinbar hielten, statt dafs Delarive und Marcet 0,1172 erhielten; jene Physiker glaubten daher das Atomgewicht desselben = 246 annehmen zu müssen, statt dafs diese dasselbe = 369 bestimmen[3]. Vor allen andern

1 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1896.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. p. 116.

3 Für die Behauptung, dafs weder die Atomgewichte, noch die specifischen Wärmecapacitäten bis jetzt mit gehöriger Sicherheit fest bestimmt sind, zeugt dieses Beispiel. Die Angabe von Dulong und Petit = 246 ist die geringste; oben Th. IX. S. 1898 wird 296 angenommen, und dann giebt die Multiplication mit der neuen Bestimmung der specifischen Wärme = 0,1172 sehr annähernd das Product beider = 0,3469. Delarive und Marcet aber sagen, dafs alle Physiker das Atomgewicht = 369 oder, was einerlei ist, = 36,9 an-

ist die specifische Wärme der Kohle mit dem aufgestellten Gesetze nicht in Einklang zu bringen, denn sie müfste in diesem Falle dreimal gröfser seyn, als 0,165 und dennoch zeigen die oben (§. 437) erwähnten Bemühungen von Delarive und Marcet, dafs die des Diamant nur 0,1192 beträgt, die möglichen Fehler aber blofs dazu führen können, die Wärmecapacität zu vergröfsern; sie glauben daher, das Atomgewicht der Kohle möge wohl unrecht bestimmt seyn, weil man den Kohlenstoff nicht in seiner einfachsten Gestalt als Gas darzustellen vermöge. Nach allem diesen halten sich also die genannten Gelehrten für berechtigt anzunehmen: 1) dafs die einfachen und einige zusammengesetzte Gase bei gleichem Volumen gleiche Wärmecapacitäten haben, andere zusammengesetzte aber hiervon abweichen; 2) dafs die festen Körper, sobald ihre Wärmecapacitäten nur richtig bestimmt sind, allerdings das Dülong'sche Gesetz bestätigen, mit Ausnahme der Kohle, die sich auf keine Weise damit vereinigen läfst, sobald man von denjenigen Bestimmungen ausgeht, die hierüber bis jetzt bekannt sind.

447) In Beziehung auf zusammengesetzte Körper ist bisher noch zu wenig geschehn, als dafs man wagen dürfte, hierüber allgemeine Gesetze aufzustellen, wozu ohnehin eine zu genaue Kenntnifs des chemischen Verhaltens der verschiedenen Combinationen gehört, als dafs ich einen Versuch dieser Art wagen dürfte, und ich begnüge mich daher nur auf dasjenige zu verweisen, was durch Neumann geleistet (§. 443) und was hierüber an einem andern Orte[1] gesagt worden ist. Auch Delarive und Marcet sind der Meinung, dafs das Gesetz über das Verhältnifs der Wärmecapacitäten zu den Atomgewichten zusammengesetzter Körper, hauptsächlich wenn man dabei den verschiedenen Zustand der Gasform, der tropfbaren Flüssigkeit und der Starrheit berücksichtigen wollte, erst noch gefunden werden müsse.

448) Noch müssen wir mit wenigen Worten einen schätzbaren Beitrag zur Lehre der Wärmecapacität erwähnen, welchen wir dem Scharfsinne und der experimentellen Fertigkeit

---

nehmen; dann aber giebt das Product mit 0,1172 die Gröfse 0,4825, mit Dulong's Gesetze nicht übereinstimmend.

1 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1941.

W. Weber's[1] verdanken. Die Bestimmung der Wärmecapacitäten findet bei allen Körpern unter der Bedingung statt, dafs sich ihr Volumen nicht weiter ändert, als durch die Ungleichheit der bei den Versuchen unnachläfslichen Temperaturen nothwendig bedingt ist. Bekanntlich wird aber durch mechanische Zusammendrückung der Gase eine bedeutende Temperaturerhöhung, wie durch Ausdehnung eine Temperaturverminderung erzeugt; wir haben es indefs angemessen gefunden (§. 412), die specifischen Wärmecapacitäten ohne Rücksicht auf die durch Volumensveränderung frei oder latent werdende Wärme zu untersuchen, weil alsdann mehr Uebereinstimmung in diese Aufgabe gebracht wird und von den durch Volumensänderung erzeugten Wärmephänomenen bereits oben (§. 101 fg.) gehandelt wurde. Interessant ist aber, dafs nach Weber's Versuchen auch bei Metallen, namentlich bei Eisen, Kupfer, Silber und Platin, die von ihm einzeln untersucht wurden, und diesemnach ohne Zweifel bei allen, die durch Ausdehnung oder Zusammendrückung derselben latent oder frei werdende Wärme eine Folge ihrer Volumensänderung, nicht aber der Reibung ihrer Theile ist. Hierbei ist selbst die durch das Experiment erlangte Gewifsheit der Thatsache von Wichtigkeit; denn dafs durch Zusammendrückung fester Körper Wärme entbunden werde, unterlag zwar keinem Zweifel, nicht aber auf gleiche Weise das Latentwerden derselben durch Ausdehnung, vielmehr konnte das Gegentheil aus der Erfahrung gefolgert werden, dafs ein Metalldraht, wenn man ihn wiederholt bis zum Zerreifsen schnell hin und zurück biegt, an der Bruchstelle bedeutend erhitzt wird; auch hat Berzelius erwähnt, dafs ein Streifen Federharz, wenn man ihn an die Lippe anlegt und schnell ausdehnt, warm zu werden scheine, was jedoch beides eine Folge der Reibung der Theile ist. Weber's Versuche sind dagegen völlig entscheidend. Er spannte Saiten aus, bewirkte durch sinnreiche Vorrichtungen, dafs sie sich ausdehnten und zusammenzogen, mafs vermittelst der Zahl ihrer Schallschwingungen die hierdurch gebundene oder frei gewordene Wärme, und fand, dafs von letzterer eine gleiche Menge durch Verminderung des Volumens frei, als durch Vermehrung desselben gebunden wird. Da aber in beiden Fällen die Reibung ihrer Theile gleich ist,

---

1 Poggendorff's Ann. XX. 177.

so konnten durch diese, als gleiche Ursachen, keine entgegengesetzte Wirkungen, Wärmebindung und Entbindung, und obendrein beide in gleichen Quantitäten, hervorgebracht werden. Hierdurch ist also nicht blofs der Satz erwiesen, dafs die *Volumensveränderung* fester Körper an sich, so wie die der Gase, Wärme erzeugt und bindet, sondern es können auch bei beiden Classen von Körpern die specifischen Wärmecapacitäten bei constantem Drucke und bei constantem Volumen unterschieden werden.

449) Da man der specifischen Wärmecapacitäten zu manchen Untersuchungen bedarf, so veranlafste dieses schon früh eine tabellarische Zusammenstellung der gefundenen Bestimmungen. Der erste, welcher eine solche Tabelle verfertigte, war Kirwan; er gab sie seinem Freunde Magellan[1], und dieser machte sie bekannt. Wilke[2] theilt gleichfalls eine Zusammenstellung vieler Bestimmungen mit, allein es sind darin nur die von ihm selbst gefundenen Werthe enthalten. Vollständiger ist daher die durch Torb. Bergmann[3] verfertigte Tabelle, die, durch Baader[4] aufgenommen, allgemeinere Bekanntschaft erhielt. Eine durch viele eigene Versuche vermehrte machte Gadolin[5] bekannt, und da die Zahl der Bestimmungen durch Crawford's spätere Versuche, hauptsächlich aber durch Lavoisier und Laplace bedeutend vermehrt worden war, konnten die Tabellen nicht blofs vollständiger, sondern hauptsächlich auch richtiger werden. Die zahlreichsten und werthvollsten Bestimmungen verdanken wir indefs dem jetzigen Jahrhunderte, wie aus der gegebenen Uebersicht der wichtigsten einzelnen Leistungen hervorgeht. Die in der alten Auflage dieses Wörterbuchs enthaltene, aus der ersten Auflage von Gren's Grundrifs der Naturlehre entnommene, Tabelle ist daher noch sehr mangelhaft, ungleich vollständiger ist die durch Murray[6] zusammengestellte, von Herschel[7] aufgenommene; die voll-

---

1 Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire 1780.

2 Schwed. Abhandl. 1781. Journ. de Phys. T. XXVI. p. 256 u. 381.

3 Opusc. T. III. p. 434.

4 Vom Wärmestoff. Wien u. Leipz. 1786. 4.

5 De theoria caloris corporum specifici. Aboe 1784.

6 Chemistry. T. I. p. 420.

7 Encyclopaedia metropolitana. art. Heat. p. 383.

ständigste, mir bekannt gewordene, ist die von BAUMGARTNER[1]. In der nachfolgenden sind, wie dieses schon vorher zu geschehn pflegte, die Bestimmungen der verschiedenen Experimentatoren neben einander gestellt worden; auch darf kaum bemerkt werden, dafs alle auf Wasser als Einheit bezogen sind. Zur Bequemlichkeit ist, wie bei allen ähnlichen Tabellen, die alphabetische Ordnung gewählt, und um das Auffinden zu erleichtern, sind die gasförmigen Körper, die tropfbarflüssigen und die starren von einander geschieden.

Gase	Spec. Wärme	Beobachter.
Atmosphärische Luft . .	1,79	CRAWFORD
	0,33	LAVOISIER und LAPLACE
	0,25	CLEMENT und DESORMES
	0,2669	DELAROCHE und BÉRARD
	0,7670	APJOHN
	0,3046	SUERMAN
	0,2835	
Ammoniakgas	0,4523	DELARIVE und MARCET
Cyangas	0,1478	DELARIVE und MARCET
Kohlenoxydgas	0,2884	DELAROCHE und BÉRARD
	0,2745	DELARIVE und MARCET
	0,4203	
	0,2736	APJOHN
	0,2750	DULONG
	0,3123	SUERMAN
Kohlensaures Gas . . .	1,045	CRAWFORD
	0,24	CLEMENT und DESORMES
	0,2210	DELAROCHE und BÉRARD
	0,1751	MARCET und DELARIVE
	0,2094	APJOHN
	0,2057	DULONG
	0,2124	SUERMAN
Oelerzeugendes Gas . .	0,4207	DELAROCHE und BÉRARD
	0,2745	DELARIVE und MARCET
	0,2140	
	0,4204	DULONG
Salpetersaures Gas . . .	0,0840	DELARIVE und MARCET

1 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. Supplementband. Wien 1831. S. 1030. Aufserdem finden sich Tabellen in KLAPROTH's und WOLF's chemischem Wörterbuch Th. V. S. 487, in GMELIN's Handbuche d. Chemie Th. I. S. 114 u. s. w.

Gase	Spec. Wärme	Beobachter.
Salzsaures Gas	0,2094	Delarive und Marcet
Sauerstoffgas	4,749	Crawford
	0,650	Lavoisier und Laplace
	0,2361	Delaroche und Bérard
	0,2422	Delarive und Marcet
	0,1953	Apjohn
	0,2420	Dulong
	0,2750	Suerman
Schwefelwasserstoffgas . .	0,2264	Delarive und Marcet
Schweflige Säure	0,1200	Delarive und Marcet
Stickstoffgas	0,7930	Crawford
	0,2754	Delaroche und Bérard
	0,2752	Delarive und Marcet
	0,2899	Apjohn
	0,3135	Suerman
Stickstoffoxydul	0,2369	Delaroche und Bérard
	0,1750	Delarive und Marcet
	0,2085	Apjohn
	0,2030	Dulong
	0,2240	Suerman
Stickstoffoxyd	0,2566	Delarive und Marcet
Wasserstoffgas	21,40	Crawford
	2,40	Clement und Desormes
	3,2936	Delaroche und Bérard
	3,8794	Delarive und Marcet
	5,6629	Apjohn
	3,8793	Dulong
	6,1892	Suerman
Wasserdampf	0,8470	Delaroche und Bérard
Flüssigkeiten.		
Alaun- lösung (1 Th. S. 2,9 Th. W.)	0,649	Kirwan
Alaun- lösung (1 Th. S. 4,45 Th. W.)	0,649	Kirwan
Alkohol	1,0860	Kirwan
	0,9300	Irvine
	0,6666	Crawford
	0,6021	Crawford
	0,6400	Leslie
(spec. Gew. 0,793)	0,622	Despretz
(— — 0,817)	0,700	Dalton
(— — 0,848)	0,760	Dalton
(— — 0,818)	0,4599	Rumford
(— — 0,853)	0,5808	Rumford
	0,6320	Delarive und Marcet
Ammoniak (spec. Gew. 0,948)	1,03	Dalton
(— — 0,997)	0,708	Kirwan

Flüssigkeiten	Spec. Wärme	Beobachter.
Ammoniak, kohlensaures	0,950	Dalton
Blut, arterielles	1,03	Crawford
venöses	0,8928	
Brom	0,1350	Delarive und Marcet
Essig	0,92	Dalton
	0,970	Mayer
aus Wein	0,387	Kirwan
destillirter	0,1030	Kirwan
Essigsäure	0,66	Dalton
Iod-Kali-Wasserstoff (Faraday's Flüssigkeit)	0,475	Delarive und Marcet
Kalilösung	0,75	Dalton
kohlensaure	0,759	Kirwan
Kochsalzlösung (spec. Gew. 1,120)	0,8473	Bischof
(spec. Gew. 1,197)	0,78	Dalton
(1 Th. S. 8 Th. W.)	0,832	Kirwan
(1 Th. S. 10 Th. W.)	0,936	
(1 Th. S. 5 Th. W.)	0,868	
(1 Th. S. 3,33 Th. W.)	0,8208	Gadolin
(1 Th. S. 2,8 Th. W.)	0,8020	
(1 Th. S. 2,66 Th. W.)	0,7930	
Leinöl	0,528	Kirwan
	0,570	Mayer
Milch (Kuhmilch)	0,9999	Crawford
	0,98	Dalton
Naphthaöl	0,4152	Rumford
	0,4930	Delarive und Marcet
Olivenöl	0,7100	Kirwan
	0,5000	Leslie
	0,4385	Rumford
	0,3096	Lavoisier und Laplace
	0,504	Delarive und Marcet
Quecksilber	0,020	Wilke
	0,033	Kirwan
	0,0280	Irvine
	0,0357	Crawford
	0,029	Lavoisier und Laplace
	0,040	Dalton
	0,0469	
	0,0330	Potter
	0,0330	Dulong und Petit
	0,0330	Neumann
	0,0333	Regnault

Flüssigkeiten	Spec. Wärme	Beobachter.
	0,0318	Delarive und Marcet
	0,0322	Schitko
Rübsamenöl	0,4519	Rumford
Salpeterlösung (1 Th. S. 3 Th. W.) .	0,646	Kirwan
(1 Th. S. 8 Th. W.)	0,8167	Lavoisier und Laplace
Salpetersäure	0,844	Gadolin
(spec. Gew. 1,2) .	0,76	Dalton
(spec. Gew. 1,3) .	0,68	Dalton
(spec. Gew. 1,3) .	0,62	Leslie
	0,6614	Lavoisier und Laplace
(spec. Gew. 1,355)	0,576	Kirwan
(spec. Gew. 1,36)	0,63	Dalton
(1 Th. S. 9,33 Th. W.) . .	0,6189	Lavoisier und Laplace
Salzsäure (spec. Gewicht 1,122) . .	0,680	Kirwan
(spec. Gew. 1,153) .	0,600	Dalton
(spec. Gew. 1,152) .	0,735	Ure
(spec. Gew. 1,192) .	0,586	Ure
Salzs. Ammoniak (1 Th. S. 5 Th. W.) .	0,798	Kirwan
Salzs. Kalk (spec. Gew. 1,4)	0,620	Dalton
Schwefeläther	0,550	Delarive und Marcet
(spec. Gew. 0,715) .	0,520	Despretz
(spec. Gew. 0,872) .	0,462	Despretz
(spec. Gew. 0,76) .	0,660	Dalton
(spec. Gew. 0,793) .	0,622	Dalton
(spec. Gew. 0,817) .	0,700	Dalton
(spec. Gew. 0,729) .	0,5433	Rumford
Schwefelkohlenstoff . .	0,3290	Delarive und Marcet
Schwefelsäure	0,418	Ure
	0,364	Ure
Schwefelsäure - Vitriolöl .	0,350	Irvine
farblose . .	0,758	Kirwan
concentrirte .	0,339	Gadolin
concentrirte .	0,349	Delarive und Marcet
(spec. Gew. 1,872) .	0,429	Kirwan
	0,340	Leslie
(spec. Gew. 1,844) .	0,350	Dalton
(spec. Gew. 1,871) .	0,3346	Lavoisier und Laplace
(1 Vol. S. 1 Vol. W.)	0,52	Dalton
(4 Th. S. 3 Th. W.)	0,6031	Lavoisier und Laplace
(4 Th. S. 5 Th. W.)	0,6631	Lavoisier und Laplace

Flüssigkeiten	Spec. Wärme	Beobachter.
Schwefelsäure (1 Th. S. 0,25 Th. W.) . .	0,442	Gadolin
(1 Th. S. 0,5 Th. W.) . .	0,500	Gadolin
(1 Th. S. 1 Th. W.)	0,605	Gadolin
(1 Th. S. 2 Th. W.)	0,749	Gadolin
(1 Th. S. 5 Th. W.)	0,876	Gadolin
(1 Th. S. 10 Th. W.) . .	0,925	Gadolin
Schwefelsaures Ammoniak .	0,9941	Kirwan
Schwefels. Eisen (1 Th. S. 2,5 W.) . .	0,734	Kirwan
Schwefels. Magnesia (1 Th. S. 2 Th. W.) . .	0,844	Kirwan
Schwefels. Natron (1 Th. S. 2,9 Th. W.) .	0,728	Kirwan
(1 Th. S. 6,4 Th. W.) . . .	0,905	Gadolin
Spermaceti, geschmolzen .	0,320	Irvine
Spermacetiöl	0,399	Kirwan
	0,500	Crawford
	0,520	Dalton
(spec. Gew. 0,915)	0,597	Ure
	0,513	Ure
Terpentinspiritus . . .	0,472	Kirwan
	0,400	Irvine
	0,462	Irvine
	0,3386	Rumford
	0,488	Delarive und Marcet
(spec. Gew. 0,875)	0,545	Ure
	0,472	Ure
	0,4209	Regnault
Wasser	1,000	
Weinsteinlösung (1 Th. S. 337,3 Th. W.)	0,765	Kirwan
Zuckerlösung	1,086	Kirwan
(spec. Gew. 1,17)	0,770	Dalton

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
Achat	0,1950	Wilke
Anhydrit	0,1854	Neumann
	0,1690	
Antimon	0,086	Kirwan
	0,063	Wilke
	0,0645	Crawford
	0,06	Dalton
	0,052	Potter
	0,0507	Dulong und Petit
	0,0508	Regnault
	0,0470	Neumann
Antimonige Säure	0,130	Neumann
Antimonoxyd	0,220	Kirwan
	0,2272	Crawford
frei von Luft	0,1666	Crawford
Apfelbaumholz	0,57	Mayer
Arragonit	0,1699	Neumann
Arsenik	0,0814	Regnault
	0,081	Avogadro
Arsenikoxyd	0,126	Gadolin
Arseniksäure	0,1309	Delarive und Marcet
glasige	0,1320	
Arseniksublimat	0,0840	Gadolin
	0,081	Avogadro
Asche	0,1923	Crawford
von Ulmenholz	0,1402	
— Holzkohlen	0,0909	
— Schmiedekohlen	0,1855	
Baryt, kohlensaurer	0,1078	Neumann
Bergkrystall	0,1894	Neumann
Birkenholz	0,48	Mayer
Birnbaumholz	0,500	Mayer
Bitterkalkspath	0,2161	Neumann
Blei	0,050	Kirwan
	0,0352	Crawford
	0,042	Wilke
	0,04	Dalton
	0,0316	Despretz
	0,0293	Dulong und Petit
	0,0282	Lavoisier und Laplace
	0,032	Potter
	0,0314	Regnault
kohlensaures	0,0814	Neumann

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
Bleiglanz	0,044	Neumann
	0,053	
Bleioxyd, gelbes	0,068	Crawford
rothes	0,059	Gadolin
	0,0623	Lavoisier und Laplace
Bleiweifs	0,067	Gadolin
Blende	0,133	Neumann
Bohnen (Pferdebohnen)	0,502	Crawford
Buchenholz	0,49	Mayer
Cadmium	0,0577	Delarive und Marcet
	0,0567	Regnault
Chromoxyd	0,196	Neumann
Cölestin	0,1300	Neumann
Diamantstaub	0,1192	Delarive und Marcet
Eichenholz	0,51	Mayer
Eis	0,90	Kirwan
	0,80	Irvine
	0,92	Avogadro
Eisen	0,130	Irvine
	0,145	
	0,125	Kirwan
	0,1269	Crawford
	0,13	Dalton
	0,126	Wilke
	0,1100	Dulong und Petit
	0,1105	Despretz
	0,110	Potter
	0,113	
	0,1138	Regnault
	0,1112	Schitko.
weiches Stabeisen	0,1190	Gadolin
kohlensaures	0,1819	Neumann
Eisenblech	0,1099	Lavoisier und Laplace
Eisenglanz	0,163	Neumann
Eisenoxyd	0,320	Kirwan
Eisenoxydul	0,1666	Crawford
Eisenrost	0,250	Crawford
luftfreier	0,1666	
Erbsen	0,492	Crawford
Eschenholz	0,51	Mayer
Fichtenholz	0,65	Mayer
Fichtensamenstaub	0,50	Crawford
Forlenholz	0,61	Mayer

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
Galmei	0,1712	NEUMANN
	0,161	
Gerste	0,421	CRAWFORD
Glas	0,177	DULONG und PETIT
	0,1756	SCHITKO
	0,1977	REGNAULT
	0,177	NEUMANN
schwedisches	0,187	WILKE
Flintglas	0,174	KIRWAN
	0,190	DALTON
Kronglas	0,20	IRVINE
Krystallglas	0,1929	LAVOISIER und LAPLACE
Glockenspeise	0,110	RUMFORD
Gold	0,05	WILKE
	0,0289	DULONG
	0,046	POTTER
	0,034	
	0,0324	REGNAULT
Graphit	0,183	GADOLIN
Gurhofian	0,2168	NEUMANN
Gufseisen	0,1298	REGNAULT
	0,1255	DESPRETZ
weifses	0,132	GADOLIN
mit Graphit	0,124	GADOLIN
Gyps, künstlicher	0,264	GADOLIN
Hafer	0,416	CRAWFORD
Holzkohle	0,2631	CRAWFORD
	0,3950	GADOLIN
Iod	0,082	AVOGADRO
	0,089	
	0,0541	REGNAULT
Iridium, unreines	0,0368	REGNAULT
Kali, kohlensaures (spec. Gew. 1,3)	0,2631	CRAWFORD
Kalk, ätzender	0,2070	GADOLIN
	0,2229	CRAWFORD
	0,2564	
	0,40	DALTON
	0,2169	LAVOISIER und LAPLACE
kohlensaurer	0,27	DALTON
	0,2710	LAVOISIER und LAPLACE
Kalkerde	0,30	DALTON
Kalkhydrat	0,25	DALTON

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
Kalkmilch (9 Kalk 16 Wasser)	0,4391	Lavoisier und Laplace
Kalkspath	0,2090 0,1950	Neumann
Kiessand	0,190	E. G. Fischer
Kobalt	0,1489	Dalton
	0,1498	Dulong und Petit
	0,1172	Delarive und Marcet
	0,1070 0,1171	Regnault
Kochsalz	0,226	Gadolin
	0,23	Dalton
	0,1743	Rudberg
Kohle (von Zucker)	0,1650	Delarive und Marcet
	0,2411	Regnault
Kreide	0,256	Crawford
	0,27	Dalton
Kupfer	0,114	Wilke
	0,1111	Crawford
	0,11	Dalton
	0,096	Potter
	0,0949	Dulong und Petit
	0,095	Marcet und Delarive
	0,0951	Regnault
weiches	0,0990	Gadolin
gehämmertes	0,0970	Gadolin
Kupferoxyd	0,2272	Crawford
	0,137	Neumann
Lindenholz	0,670	Mayer
Lunge eines Schafes	0,769	Crawford
Magnesia	0,276	Neumann
kohlensaure	0,379	Gadolin
Magnesit, blätterig	0,2270	Neumann
Mangan, unrein	0,1441	Regnault
Mennig	0,0616	Neumann
Messing	0,116	Wilke
	0,1123	Crawford
	0,11	Dalton
	0,0890	Despretz
	0,093	Neumann
	0,0939	Regnault
Mörtel	0,28	Gadolin
	0,2229	Crawford
Molybdän	0,0659	Delarive und Marcet

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
	0,102	Neumann
	0,0723	Regnault
Muskelfleisch vom Ochsen	0,74	Crawford
Nickel	0,100	Dalton
	0,1035	Dulong und Petit
	0,1086	Regnault
nicht geschmolzen	0,1119	Regnault
geschmolzen	0,1163	Regnault
Ochsenhaut mit Haaren .	0,787	Crawford
Palladium	0,0593	Regnault
Pechtannenholz	0,58	Mayer
Pflaumbaumholz	0,44	Mayer
Phosphor	0,385	Avogadro
	0,1887	Regnault
Platin	0,13	Irvine
	0,0314	Dulong und Petit
	0,0335	Pouillet
Blech . . .	0,0324	Regnault
Schwamm . .	0,0329	Regnault
Pottasche	0,759	Kirwan
Preufsisch-Blau	0,300	Gadolin
Quecksilberoxyd, rothes .	0,049	Neumann
	0,0501	Lavoisier und Laplace
Realgar	0,130	Neumann
Reis	0,5060	Crawford
Rose'sches Metall . . .	0,0338	Erman [1]
Rotheisenstein	0,1660	Neumann
Scheel	0,035	Delarive und Marcet
	0,0364	Regnault
Schmiedekohlen	0,1923	Crawford
Schwefel	0,183	Kirwan
	0,189	Irvine
	0,19	Dalton
	0,2085	Lavoisier und Laplace
	0,188	Dulong und Petit
	0,2026	Regnault
	0,209	Neumann
Schwefelantimon . . .	0,1286	Delarive und Marcet
Schwefeleisen	0,1350 / 0,1396	Delarive und Marcet
Schwefelkies	0,1320	Neumann
Schwefelmolybdän . . .	0,1097	Delarive und Marcet

1 Poggendorff's Ann. XX. 290.

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
Schwefelquecksilber . . .	0,0598	Delarive und Marcet
Schwerspath	0,1068	Neumann
Seesalz	0,23	Dalton
Selen	0,0834	Delarive und Marcet
	0,0837	Regnault
Silber	0,082	Wilke
	0,08	Dalton
	0,0557	Dulong und Petit
	0,059 0,063	Potter
	0,0570	Regnault
Silberglätte	0,049	Gadolin
Spatheisenstein	0,1825	Neumann
Speerkies	0,1332	Neumann
Spiefsglanzerz, grau . .	0,083 0,092	Neumann
Stahl	0,1185	Regnault
	0,1128	Despretz
gehärtet . . .	0,123	Gadolin
weich	0,120	Gadolin
feiner	0,1273	Regnault
Steingut, Erdenwaare . .	0,119	Kirwan
Steinkohle	0,2777	Crawford
	0,28	Kirwan
(spec. Gew. 1,27)	0,28	Dalton
Strontian, kohlensaurer .	0,1445	Neumann
Talkerde, schwefelsaure mit Krystallwasser .	0,2906	Rudberg
Tannenholz	0,60	Mayer
Tellur	0,0912	Dulong und Petit
	0,0516	Regnault
Thon, weifser	0,2410	Gadolin
weifser, gebrannt .	0,185	Gadolin
Tungstein	0,0306	Delarive und Marcet
Ulmenholz	0,450	Mayer
Uran	0,0619	Regnault
Oxydul . . .	0,106	Neumann
Pecherz . . .	0,106	Neumann
Wachs, weifses	0,45	Gadolin
Weizen	0,4770	Crawford
Wismuth	0,043	Wilke
	0,04	Dalton
	0,0288	Dulong und Petit

Feste Körper	Spec. Wärme	Beobachter.
	0,033	Potter
	0,039	Potter
	0,0308	Regnault
	0,027	Neumann
Zink	0,102	Wilke
	0,0943	Crawford
	0,10	Dalton
	0,0935	Despretz
	0,0927	Dulong und Petit
	0,098	Potter
	0,094	Potter
	0,0956	Regnault
kohlensaures . .	0,1712	Neumann
Zinkoxyd	0,1369	Crawford
	0,132	Neumann
Zinkstein	0,090	Neumann
Zinn	0,0704	Crawford
	0,060	Wilke
	0,07	Dalton
	0,0514	Dulong und Petit
	0,0475	Lavoisier und Laplace
	0,056	Potter
	0,0514	Delarive und Marcet
	0,0562	Regnault
	0,0537	Despretz
englisches . . .	0,0569	Regnault
Zinnbleioxyd	0,102	Kirwan
Zinnober	0,052	Neumann
Zinnoxyd	0,0990	Crawford
	0,096	Kirwan

450) Bei allen diesen Bestimmungen ist die *specifische Wärme des Wassers* als Einheit angenommen, und der Ueberblick der Tabelle zeigt, wenn wir einige ältere, offenbar ungenügende Resultate unbeachtet lassen, dafs unter allen Körpern das Wasser die gröfste specifische Wärmecapacität habe, mit Ausnahme des Wasserstoffgases, wovon man aber wegen seiner aufserordentlich geringen Dichtigkeit nicht leicht eine hinlänglich grofse Masse vereinigt erhalten kann, um seine, durch das ganze Volumen verbreitete und daher in einem einzelnen Theile der Masse nur geringe, wenn gleich im Ganzen

grofse Wärmecapacität wahrzunehmen. Dagegen zeigt sich die starke Wärmecapacität des Wassers in vielen gemeinen Erscheinungen. Von ihr rührt es her, dafs das Wasser so vieles Brennmaterial erfordert und dennoch erst in verhältnifsmäfsig langer Zeit bedeutend heifs wird, dagegen aber seine Wärme nur langsam verliert. Siedendes Wasser erzeugt vorzugsweise Brandwunden, mindestens leichter, als jede andere, bis zur Siedehitze erwärmte Substanz, namentlich als die Metalle, und wenn man in einen erwärmten silbernen Löffel Medicin giefst, so wird diese nicht bedeutend warm, wenn sie auch nur den dritten oder vierten Theil des Metallgewichtes beträgt, wogegen der Löffel bei gleichem Gewichtsverhältnisse bedeutend erwärmt wird, wenn man heifses Wasser hineingiefst. Aus eben diesem Grunde ist das Wasser sehr geeignet zur *Erwärmung von Treibhäusern*, in die man dasselbe durch zweckmäfsige Vorrichtungen heifs leitet und nach Abgabe seiner Wärme wieder zurückströmen läfst, wozu TREDGOLD[1] sehr zweckmäfsige Anleitung gegeben hat.

5) Latente, gebundene Wärme.

451) Vermöge der verschiedenen Wärmecapacität der Körper werden nicht alle durch eine gleiche Menge der auf die eine oder die andere Weise ihnen zugeführten Wärme eine gleiche Erhöhung ihrer Temperatur erhalten, immerhin aber wird dieselbe steigen, wie wenig ergiebig auch die Wärmequelle und wie grofs die specifische Wärmecapacität der Körper seyn mag, sobald nur das zu ihrer Wahrnehmung verwandte thermoskopische Werkzeug die erforderliche Feinheit besitzt, um sie anzuzeigen. Wirkte z. B. auf einen gegebenen Körper eine Wärmequelle auf eine solche Weise, dafs sie in ihm nur 1° C. Temperaturerhöhung hervorbrächte, und würde sie dann bei einem andern Körper von 20mal gröfserer Wärmecapacität angewandt, so könnte sie in diesem nur $\frac{1}{20}$ Grad Temperaturerhöhung erzeugen, die aber auf jeden Fall zum Vorschein kommen mufs, wenn das Thermometer empfindlich genug ist. Beispiele dieser Art giebt es wirklich. Nehmen wir

---

1 Trans. of the horticult. Soc. T. VII. P. IV. p. 563. Daraus in Wiener Zeitschrift Th. VIII. S. 456.

die Wärmecapacität des Quecksilbers = 0,033 gegen Wasser als Einheit an, so würde die Wärmequelle, welche die Temperatur von 1 Pfund Quecksilber um 1° C. zu erhöhen diente, die vor 1 Pfund Wasser nur um 0°,033 C. steigen machen, eine so kleine Gröfse, dafs ein gewöhnliches, minder empfindliches Thermometer sie nicht anzuzeigen vermöchte. Dennoch aber wäre diese Temperaturerhöhung wirklich vorhanden und auch sensibel, denn erhitzte die Wärmequelle das Quecksilber um 10° C., so würde die Temperatur des Wassers durch sie um 0°,33 wachsen, und wir sind also nach dem Grundsatze, dafs die Wirkung der Ursache proportional sey, auch ohne mögliche Messung berechtigt zu schliefsen, dafs eine zehnmal, ja hundertmal schwächere Wärmequelle eine zehnmal und hundertmal geringere Erhöhung der Temperatur hervorbringen würde. Ganz etwas anderes ist es aber mit dem *Latentwerden* der Wärme; denn wenn in diesem Falle auch eine bedeutende Quantität derselben zugeführt wird, so verschwindet sie gänzlich und ist durchaus nicht thermoskopisch wahrnehmbar. Man könnte hiergegen einwenden, die zugeführte Wärme verschwinde nicht wirklich, sondern sey nur wegen ihrer Geringfügigkeit und der grofsen Wärmecapacität der Körper nicht mefsbar, allein diese Voraussetzung ist mit den Thatsachen unvereinbar; denn wenn z. B. Schnee und Kochsalz, beide von 0° C. Temperatur, gemischt werden, so geht die Temperatur beider vereinten Körper weit unter 0° C. herab, selbst wenn von der weit wärmeren Umgebung stets Wärme zugeführt wird, so dafs also nicht blofs die eigene Wärme beider Körper, sondern auch die zugeführte latent wird und aufhört, sensibel zu seyn.

452) Das Latentwerden der Wärme läfst sich leicht bei demjenigen Körper, wobei es vorzugsweise statt findet, durch einen entscheidenden Versuch anschaulich machen. Nimmt man bei strenger Kälte ein Gefäfs mit Eis, in dessen Mitte sich die Kugel eines eingefrornen Thermometers befindet, welches, wir wollen annehmen, — 10° C. zeigt, und setzt man dieses über eine Weingeistflamme, so wird das Thermometer schnell bis 0° C. steigen und dadurch das Eindringen der Wärme kenntlich machen. Von da an bleibt aber dasselbe, ungeachtet der fortdauernd einströmenden Wärme, unverändert auf 0° stehen, so lange die Kugel noch in Eis eingeschlossen

Sobald aber der letzte Antheil desselben sich in Wasser verwandelt hat, wird im Verhältnifs der Intensität der Wärmequelle das Thermometer rasch steigen, bis das Wasser die Siedhitze erreicht, und dann abermals auf diesem Puncte stehn bleiben, ohne von der fortdauernd zuströmenden Wärme afficirt zu werden, die im gebildeten Dampfe latent wird. Eben hierauf beruht die Erhaltung der beiden *festen Puncte* des *Thermometers*[1].

453) Man mufs sich wundern, dafs diese so oft vorkommende Erscheinung von den älteren Physikern nicht beachtet oder wenigstens nicht nach ihrer Wesenheit gewürdigt wurde, denn man verfertigte bereits seit geraumer Zeit durch Anwendung dieses Mittels übereinstimmende Thermometer, ohne den Begriff der latenten Wärme gehörig aufzufassen. Im Winter 1754 bis 1755 liefs DE LUC[2] Wasser mit eingesenkten Thermometern in Trinkgläsern gefrieren, und als dieses Eis aufthauete, bemerkte er keine Zunahme der Temperatur, so lange die Kugel des Thermometers vom Eise umgeben war, obgleich sich eine Vermehrung der Wärme bei dem Eise gezeigt hatte, als es tief erkaltet in ein warmes Zimmer gebracht wurde. Hieraus folgerte DE LUC, dafs die Wärme oder das Feuer, wie man es damals nannte, verschwinde. Am sinnreichsten arbeitete hierin BLACK[3], und zeigte um dieselbe Zeit in seinen Vorlesungen den in dieser Beziehung entscheidenden Versuch, welcher erst später durch CRAWFORD[4] allgemeiner bekannt wurde. Er mischte 59,5 Th. Eis und 67,5 Th. Wasser, das Glas aber, worin sich letzteres befand, schätzte er auf 4 Th. Wasser, so dafs 71,5 heifses Wasser von 190° F. mit 59,5 Th. Eis von 32° F. vereint wurden. Nach dem Schmelzen des Eises zeigte die Mischung 53° F., folglich hatte das Wasser 137° F. verloren, das Eis aber 21° gewonnen, statt dafs der Rechnung nach die Mischung 118° seyn und das Eis 86° gewonnen haben sollte, mithin mufsten 65° F. verloren oder latent geworden seyn. Ist hiernach die Masse des Wassers

1 Vergl. Art. *Thermometer.* Bd. IX. S. 882.

2 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 438. Neue Ideen über Meteorol. §. 179.

3 Lectures. T. I. p. 79 u. 504. Vergl. HERSCHEL in Encyclop. met. art. *Heat.* p. 319.

4 On animal Heat. 1788.

=m, seine Temperatur = t, seine zu bestimmende Wärmecapacität = c, die Masse des Eises = m', die gemeinschaftliche Temperatur nach der Mischung = T, so ist die in der flüssigen Masse enthaltene Wärme = $(m + m')\,cT$. Wird hierzu die vom Eise durch seine Schmelzung absorbirte Wärme genommen, die seiner Masse proportional ist, so erhält man $(m + m')\,cT + m'$, und diese mufs der im heifsen Wasser enthaltenen gleich seyn. Hiernach hat man

$$(m + m')\,cT + m' = mct,$$

woraus

$$c = \frac{m'}{mt - (m + m')\,T},$$

und für Black's Bestimmungen

$$m = 143;\quad t = 190 - 32 = 158$$
$$m' = 119;\quad T = 53 - 32 = 21$$

ist $c = \dfrac{119}{143 \times 158 - 262 \times 21} = \dfrac{119}{17132} = 0°{,}00694$ F.

und nach Centesimalgraden gerechnet 0°,01249 C., welches nahe 1:80 giebt. In einem andern Versuche vereinigte Black gleiche Gewichte Wasser von 176° F. und Eis von 32° F., und fand, dafs dieses gerade hinreichte, das Eis zu schmelzen, wodurch also 144° F. oder 80° C. latent wurden. Wie oben (§. 375) angegeben worden ist, hatte Wilke wahrscheinlich Kenntnifs von diesen Versuchen; er wiederholte dieselben, durch ihn wurde die Sache allgemein bekannt[1], und er galt auch seitdem für den Erfinder der Lehre vom latenten Wärmestoff. Nach seinen Resultaten bestimmte er die Menge der zum Schmelzen des Eises erforderlichen Wärme auf 72° C., denn wenn er gleiche Massen Schnee von 0° und Wasser von 72° vereinigte, so erhielt die Mischung nicht die mittlere Temperatur beider, die sie nach Richmann's Regel (§. 375) haben sollte, sondern sie blieb auf 0°, und die 72° C. waren also zum Schmelzen des Schnees verwandt worden. Eben dieses Resultat gab folgender Versuch. Er setzte zwei gleiche blecherne Gefäfse mit gleichen Mengen, das eine mit Schnee, das andere mit Wasser, beide von 0° C. gefüllt, im nämlichen Augenblicke in siedendes Wasser. Sobald das Thermometer im Wassergefäfse 72° zeigte,

1 Neue schwed. Abh. 1782. Th. II.

nahm er das mit Schnee gefüllte heraus, dessen Thermometer dann 2° zeigte, aber sofort auf 0° herabsank, als der letzte Antheil des noch vorhandenen Schnees geschmolzen war. Dieser Versuch dürfte aber größere Genauigkeit erfordern, um beweisend zu seyn.

454) Die genaue Bestimmung der Menge von Wärme, welche im schmelzenden Eise gebunden wird, ist in vielfacher Beziehung, hauptsächlich aber für die Anwendung des *Eiscalorimeters* (§. 377) sehr wichtig. Wie eben gezeigt, bestimmte Black dieselbe zu 80° C., Wilke dagegen zu 72° C.; Watt und de Luc[1] sind geneigt, dem Ersteren beizustimmen, im Allgemeinen aber erhielt die letztere Bestimmung die meisten Anhänger, bis Lavoisier und Laplace[2] das Problem abermals untersuchten. Sie fanden durch wiederholte Versuche, dafs eine Quantität Wasser von 75° C. gerade hinreicht, um eine gleiche Masse Eis zu schmelzen und die Mischung auf 0° C. zu bringen, so dafs also die 75° latent werden. Diese Bestimmung ist seitdem allgemein angenommen worden, und es folgt aus ihr, dafs das Eis bei 0° Temperatur 75° C. Wärme verschluckt, um ohne Temperaturvermehrung flüssig zu werden, oder soviel, als hinreichen würde, um eine gleiche Quantität Wasser von 0° auf 75° zu bringen, oder um eine 75mal gröfsere Masse Wasser von 0° um 1° zu erwärmen. Umgekehrt mufs Wasser, wenn es bei 0° seiner Temperatur gefriert, eine gleiche Quantität Wärme abgeben, um in Eis verwandelt zu werden. Auch diese *Entbindung* der Wärme ist wie die Bindung derselben durch Versuche erwiesen. De la Beche[3] setzte Wasser, worüber eine Oelschicht stand, einer Kalte von — 11°,25 C. aus und fand, dafs das Oel so lange flüssig blieb, bis alles Wasser in Eis verwandelt war. Bringt man in ein Zimmer, dessen Temperatur — 16° C. seyn möge, zwei Gefafse, das eine mit Wasser, das andere mit Salzsoole gefüllt, beide von 0° Temperatur, so wird letztere erkalten, wir

1 Neue Ideen über die Meteorol. §. 211.

2 Mémoires de l'Acad. de Paris. 1780. Thomson System of Chemistry T. I. p. 56 erwähnt, dafs Cavendish schon vor Black das Latentwerden der Wärme im schmelzenden Eise entdeckt zu haben behaupte und ihre Menge = 83°,34 C. annehme.

3 G. LXXI. 435. Bibliothèque univ. T. XIII. p. 76.

wollen annehmen bis — 12°, ersteres aber wird zum Theil in Eis verwandelt werden, ohne seine Temperatur zu ändern; da aber beide nothwendig Wärme an die äufsere Umgebung abgeben müssen, so folgt hieraus, dafs das in Eis verwandelte Wasser die nach aufsen abgegebene Wärme frei gemacht und dadurch ein Sinken der Temperatur verhindert habe[1]. Ein ähnlicher Versuch von FAHRENHEIT ist folgender[2]. Man lasse Wasser von beliebiger Temperatur in einem langen schmalen Glase in einem Zimmer von etwa — 6° C. Wärme ruhig stehend erkalten, indem dasselbe lose bedeckt und ein Thermometer hineingesenkt ist. Das Wasser sinkt allmälig bis zur Temperatur der Umgebung, also bis — 6° C. herab, allein beim Erschüttern des Glases gefriert augenblicklich ein Theil des Wassers, und der Rest zeigt 0° C. BLACK mischte 1 Th. Wasser von 0° C. mit 1 Th. Schnee von — 16°, die also — 8° geben mufsten, und bei dieser Temperatur konnte die ganze Masse nicht anders als gefroren seyn, allein es war nur $\frac{1}{5}$ des Wassers in Eis verwandelt und das Ganze zeigte 0°. Dieses stimmt vollkommen mit seiner Bestimmung überein; denn da das Wasser beim Gefrieren nach seiner Messung 80° C. Wärme entbindet, so mufsten durch das gebildete Eis $\frac{80°}{5} = 16°$ Wärme frei werden, die also die Temperatur des Schnees um diese 16° erhöhten. THOMSON[3] bemerkt in dieser Beziehung, dafs allezeit ein der Temperaturverminderung proportionaler Theil des Wassers in Eis verwandelt werde, also nur $\frac{1}{5}$, wenn dasselbe bis — 16° erkaltet sey, und man müsse es daher bis $- 5 \times 16 = - 80°$ erkalten lassen, wenn alles Wasser gefrieren solle. Inzwischen ist es kaum möglich, die Menge des gebildeten Eises genau zu bestimmen, und dafs diese Messung Täuschungen unterliege, wird unten (§. 499) gezeigt werden. Uebrigens stimmen theoretische Ansichten hiermit überein; denn man mufs annehmen, dafs bei der Bildung der Eiskrystalle die umgebenden Wassertheile die frei gewordene Wärme aufnehmen.

455) Weil bei diesen und anderen, demnächst zu erwäh-

1 HERSCHEL in Encyclop. metrop. Art. *Heat*. p. 319.
2 Philos. Trans. 1824. N. 382.
3 Chemistry. T. I. p. 54.

nenden Processen die wirklich vorhandene Wärme nicht mehr thermoskopisch wahrnehmbar ist, so nannte BLACK sie *latente*, andere dagegen nannten sie *Flüssigkeitswärme*, weil sie verschwindet, indem sie den Zustand der Festigkeit in den der Flüssigkeit verwandelt. Die erste Bezeichnung ist für alle Erscheinungen dieser Art zulässig, die letztere aber ist zu eng und würde noch eine zweite für die Dampf- und Gasbildung erfordern, weswegen man auch später den ersteren Ausdruck als den allgemeineren beibehalten hat. Die Entdeckung dieser auffallenden Erscheinungen, die vorzugsweise dazu beitrugen, die verworrenen Begriffe über das Wesen der Wärme oder des Feuers, wie man es damals nannte, zu berichtigen, veranlafsten sofort auch eine Menge Untersuchungen über die Art, wie die Wärme in den Körpern existiren möge. BLACK nannte sie *gebunden* und schien hierdurch eine chemische Vereinigung anzudeuten, wogegen aber CRAWFORD sich erklärte, nach dessen Ansicht eine solche chemische Bindung nicht statt finden kann, weil die bloſse Annäherung kälterer Körper sie wieder zu trennen vermag. Dagegen sucht er die Ursache in einer gröſseren *Capacität*, die beim Wasser gröſser seyn soll, als beim Eise, und beim Wasserdampfe gröſser, als beim Wasser; doch geht die Unzulässigkeit dieser Theorie aus den Untersuchungen über die Wärmecapacität der Körper evident hervor[1]. Ehemals, als man noch die permanent elastischen Flüssigkeiten oder die Gase von den nicht permanent elastischen, den Dämpfen, für wesentlich verschieden hielt, muſste man consequent annehmen, daſs die Wärme in den Gasen chemisch gebunden sey, nicht aber in den Dämpfen, oder im Wasser, sofern man dieses als durch Wärme aus dem Eise entstanden betrachtet. Daher nahm PICTET[2] viererlei Arten von Feuer an, freies, specifisches, latentes und chemisch gebundenes; das latente aber soll wieder *Flüssigkeitswärme* und *Vaporisationswärme* (Verdampfungswärme) genannt werden, wogegen jedoch GEHLER[3] erinnert, daſs man die Wärme, wenn sie sich nicht frei wirksam zeigt, ebenso gut gebunden nennen könne, als

---

1 Gegen diese Ansicht erklärt sich ausführlich DE LUC in: Neue Ideen über die Meteorologie. Th. I. §. 115 ff.

2 Versuch über das Feuer. Cap. I.

3 Wörterbuch, a. A. Th. IV. S. 565.

das Krystallisationswasser. Aus LAVOISIER's[1] Zerlegung des Wassers folgerte ACHARD[2], indem er Wasserdämpfe durch glühende eiserne Röhren strömen liefs oder glühende Metallmassen in luftfreiem Wasser ablöschte, dafs aus Dämpfen Luft erzeugt werde, mithin die Wärme in beiden nicht in einem wesentlich verschiedenen Zustande vorhanden seyn könne; was man gegenwärtig jedoch aus einem andern Gesichtspuncte betrachtet. JOH. TOB. MAYER[3] hatte wohl ohne Zweifel die richtigsten Begriffe von der Sache selbst, obgleich er sich zu CRAWFORD's Meinung zu neigen schien. Nach seiner Ansicht, die später durch LAPLACE geistreich dargestellt und durch den gelehrtesten Calcül unterstützt wurde, sind die Molecüle der Körper von Wärmesphären umgeben, welche der Anziehung dieser Molecüle durch ihre Repulsion entgegenwirken. Kommen dieselben in eine veränderte Lage, wie z. B. die des Wassers bei seiner Entstehung aus dem Eise, so läfst sich annehmen, dafs die specifische Elasticität der Wärme dadurch vermindert werde oder dafs eben die Repulsion der Wärme der Vereinigung der Wassermolecüle zu Eis entgegenwirke und sie selbst dadurch für das Thermometer wahrnehmbar zu seyn aufhöre. Vielleicht, meint er, erweitern sich die Zwischenräume zwischen den Molecülen, wodurch dann mehr Wärme aufgenommen wird, ohne eine gröfsere Spannung derselben zuzulassen[4], da sie vielmehr blofs in die Zwischenräume eindringt. Auf dem Angezogenwerden der Wärme durch die Molecüle der Körper beruht nach ihm auch die geringe Wärme des leeren Raumes, welcher die gröfste besitzen müfste, wenn der Wärmestoff in allen Räumen von gleicher Temperatur in gleicher Quantität vorhanden wäre; vielmehr wachse diese Quantität im Verhältnifs der Anziehung der individuellen Molecüle der Körper gegen den Wärmestoff. Diese eigenthümliche Anziehung will er dann durch Capacität ausgedrückt haben und nähert sich auf diese Weise der Meinung CRAWFORD's, allein der Begriff der

---

1 Opusc. phys. et chym. 1783. T. III.

2 Crell's chem. Ann. 1785. St. 4, 5, 6.

3 Ueber die Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs. Erlangen 1791.

4 Das geringere spec. Gewicht des Eises kann hiergegen keinen Einwurf bilden, denn das Eis hat krystallinisches Gefüge.

Wärmecapacität ist einmal festgesetzt, das Verhalten der Körper in dieser Beziehung ist verschieden von dem, welches sie beim Latentwerden der Wärme zeigen, und es läfst sich kein Grund angeben, warum man die im letzteren Falle verschwindende thermoskopisch nicht mehr wahrnehmbare Wärme nicht latent oder gebunden nennen sollte. Ob diese Bindung eine gleiche sey, als diejenige, welche sich bei chemischen Verbindungen zeigt, die sämmtlich auf Anziehungen beruhn, darüber etwas auszumachen würde offenbar zu einem Wortstreite führen. Minder bestimmt und klar ist GREN[1], welcher einen *unmerkbaren* Wärmestoff (*calor insensibilis*) annimmt, den er wieder in einen *adhärirenden* und *chemisch gebundenen* abtheilt. In den Dämpfen und im Wasser soll derselbe blofs adhärirend seyn, weil er durch blofse Annäherung kalter Körper wieder entzogen wird, in den permanent elastischen Gasarten aber chemisch gebunden; allein man wird schwerlich geneigt seyn, die vom Entdecker zweckmäfsig gewählte Bezeichnung mit dieser neuen zu vertauschen, und die nicht einmal streng begründete Permanenz der Gase kann die Nothwendigkeit eines solchen Unterschiedes in der Bezeichnung nicht herbeiführen. Die Einwendungen endlich, welche DE SOYECOURT[2] gegen die Versuche von BLACK und WILKE gemacht hat, wonach er die ganze Sache bestreitet oder die Menge der gebundenen Wärme bedeutend herabsetzt, werden am besten mit Stillschweigen übergangen.

456) Nicht blofs das Eis hat die Eigenschaft, bei seiner Verwandlung in Wasser Wärme zu binden und umgekehrt bei seiner Entstehung frei zu machen, sondern wahrscheinlich findet dieses, wo nicht bei allen, doch bei den meisten Körpern statt, wenn auch in einem geringeren Grade; aber nur bei verhältnifsmäfsig wenigen ist diese Thatsache durch Versuche constatirt und die Menge der frei oder latent werdenden Wärme genau ermittelt. Schon der ältere IRVINE[3] will dieses Verhalten bei Spermaceti und Wachs beobachtet haben, der jüngere IRVINE[4]

---

1 Grundrifs d. Naturlehre 1793. §. 726. System. Handb. d. Chemie Th. I §. 210.

2 Mém. sur les expériences données en preuve de la chaleur latente. Par. 1787. Journ. de Phys. T. XXXII. p. 143. Gotha'sches Mag. Th. VI. St. 2. S. 151.

3 Chemical Essays.

4 Nicholson's Journ. T. IX. p. 45. G. XXXVIII. 305.

aber beim Zinn, Wismuth, Blei, Zink und Schwefel; allein es ist nicht wohl glaublich, dafs die von ihnen gefundenen Mengen der entbundenen Wärme, welche insgesammt die des Eises übertreffen, für genau zu halten sind. Vorzugsweise zeigt sich das Phänomen bei allen aus ihren Lösungen schnell krystallisirenden Salzen, wie schon aus der Aehnlichkeit dieses Processes mit der Eisbildung wahrscheinlich wird. Wenn man in dem bekannten Versuche[1] 51 Th. krystallisirtes Glaubersalz in 49 Th. Wasser gelöst in einem Medicinglase bis zum völligen Sieden bringt, dann schnell verkorkt, um ein Vacuum zu erhalten, nach dem Erkalten eröffnet und die Kugel eines feinen Thermometers hineinsenkt, so wird die gesammte Masse durch die Berührung mit der Thermometerkugel schnell krystallisiren, und das Thermometer zeigt Entbindung der Wärme, die man auch durch das Gefühl wahrnimmt. Scholz[2] erzählt ein sehr auffallendes Beispiel der Wärmeentbindung, welches wegen der unverdächtigen Glaubhaftigkeit des Beobachters Erwähnung verdient. Er stellte ein Gefäfs mit Lauge von salzsaurem Kalk, die bis zum Krystallisationspuncte abgedampft war, zum Krystallisiren im Winter vor das Fenster. Als nach dem Erkalten dieses nicht erfolgte, nahm er die Schale herein, um die Lauge noch weiter abzudampfen, allein durch die Erschütterung begann sie sogleich zu krystallisiren, und die Schale wurde dadurch so heifs, dafs er sie kaum halten konnte und auf einen Tisch setzen mufste. Dabei bewegte die Lauge sich heftig und wallte auf, als wenn sie siedete.

Das Latentwerden der Wärme und ihre Erzeugung zeigt sich aber nicht blofs beim Processe des Krystallisirens, sondern man kann allgemein sagen, dafs Wärme gebunden wird, wenn Körper aus dem Zustande der Festigkeit in den der tropfbaren Flüssigkeit übergehn, und dafs umgekehrt Wärme zum Vorschein kommt, wenn tropfbar-flüssige Körper fest werden. Landriani[3] umwickelte eine Thermometerkugel mit Stanniol und tauchte sie in Quecksilber, wodurch das Thermometer zum

---

1 Boyle Exper. Physico-mech. Cont. II. art. XI. exp. 2. p. 330. Gay-Lussac in Schweigger's Journ. IX. 70. XV. 157 u. 231.

2 Anfangsgründe der Physik. 3te Aufl. Wien 1827. S. 461.

3 Opusc. fisico-chem. p. 81.

Sinken gebracht wurde. Nach HASSENFRATZ[1] soll gefrornes Quecksilber nicht weniger als 84°,6 C. bedürfen, um flüssig zu werden, also mehr als Eis, was jedoch wegen der großen Wärmecapacität des Wassers sehr unwahrscheinlich ist, und die Versuche sind auch zur Begründung dieser Gröſse keineswegs genau genug, vielmehr müssen wir annehmen, daſs das Eis die gröſste Menge Wärme bedarf, um flüssig zu werden, so lange, bis das Gegentheil entschieden dargethan ist. Nach CRICHTON[2] schmilzt Blei bei 322° C. und behält beim Gestehn diese Temperatur bei, scheidet also keine Wärme aus; Wismuth schmilzt bei 246°, sinkt im Momente des Flüssigwerdens um 4°,45 und steigt sofort wieder; Zinn schmilzt bei 227° C., sinkt aber nur um 2°,22. Diese Resultate haben einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, denn theils sind die Mengen der latenten Wärme so gering, daſs sie leicht übersehn und nur durch eigens angestellte Versuche ausgemittelt werden konnten, theils giebt das Wismuth, als das am vollständigsten krystallisirende Metall, die gröſste, das Blei aber die geringste Wärmemenge. DÖBEREINER[3] vereinigte 1 Th. des leichtflüssigen (Rose'schen) Metalles mit dem 2,6fachen Quecksilber, beide von 18°,75 C. Wärme, und sah die Temperatur durch die Auflösung bis — 10° C. herabgehn; ebenso mischte er 688 Gr. Wismuthamalgam (404 Th. Quecksilber, 284 Th. Wismuth) mit 816 Gr. Bleiamalgam (404 Th. Quecksilber, 412 Th. Blei) bei 20° Temperatur, und die Verbindung sank bis — 1°,25 C. herab. Vereinigt man hiermit noch 808 Th. Quecksilber, so geht die Temperatur auf — 8° herab, wird aber ein in kleine Theilchen verwandeltes Gemenge aus 118 Th. Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth bei 17°,5 in 1616 Th. Quecksilber gelöst, so sinkt die Wärme bis — 10°. Auch ORIOLI[4] beobachtete, daſs durch Vereinigung des festen Bleiamalgams mit festem Wismuthamalgam beide flüssig wurden und die Wärme um 22° C. herabsank.

---

1 Journ. de l'école polyt. T. I. p. 123. Trommsdorff's Journ. d. Pharm. Th. VIII. S. 402.

2 Annals of Philos. T. XIII. p. 224.

3 Schweigger's Journ. XLII. [illegible] 183. Kastner's Archiv. Th. III. S. 90.

4 Nuov. Collez. di Op. Scient. 1823. p. 104. Ferussac Bullet. des Sc. math., phys. et chim. 1825. p. 117.

457) Sehr interessante Versuche über das Verhalten der Metalllegirungen hat Rudberg[1] mit seiner gewohnten Schärfe im Experimentiren angestellt. Er liefs acht verschiedenartige Mischungen von Blei und Zinn in einem nach Dulong's Art construirten Apparate erkalten und beobachtete die für 10° C. erforderliche Zeit. Wenn wir mit Rudberg zunächst diese verbundenen Metalle berücksichtigen, so zeigte sich bei allen für die Temperatur von 187° C. (des Quecksilberthermometers) ein fester Stillstandspunct, wo die Temperatur unverändert bleibt, also nothwendig latente Wärme frei werden mufs. Die Dauer des Stillstandes betrug bei $Pb.Sn^4$ im Maximum 11 Min. 51 Sec. und nahm mit verändertem Mischungsverhältnifs, von dem angegebenen ausgehend, nach beiden Seiten bis 1 Min. 48 Sec. für $Pb^3.Sn$ ab, aufserdem aber zeigte sich noch ein beweglicher (bei den verschiedenen Verbindungen ungleicher) Stillstandspunct, welcher bei den einfachen Metallen nicht vorhanden ist oder vielmehr mit der Erstarrungstemperatur derselben zusammenfällt. Auch diese zeigen beim Erstarren die Wirkung der entbundenen latenten Wärme, und zwar das Blei bei 325°, das Zinn bei 228° C. des Quecksilberthermometers. Bei sechs verschiedenen Verbindungen von Zinn und Wismuth fiel der feste Stillstandspunct des Thermometers bei 143° C., dauerte für $Sn.Bi$ im Maximum 19 Min. 4 Sec. und nahm nach beiden Seiten bis 7 Min. 2 Sec. im Minimum ab, welches bei $Sn^4.Bi$ statt fand. Auch hierbei zeigte sich ein zweiter beweglicher Stillstandspunct, aufser bei $Sn^3.Bi^2$., welches mit Ausnahme des genannten festen Stillstandspunctes regelmäfsig erkaltete. Ein gleiches Verhalten zeigten sechs Verbindungen von Zink und Zinn, denn auch hierbei fiel der feste Stillstandspunct bei 204°, betrug für $Zn.Sn^4$. im Maximum 13 Min. 15 Sec., nahm nach beiden Seiten ab bis 8 Min. 8 Sec. im Minimum bei $Zn.Sn^{12}$., der gleichfalls vorhandene bewegliche Punct fehlte aber bei derjenigen Verbindung, wo der feste die längste Dauer hatte, weswegen er vermuthlich mit diesem zusammenfiel. Aufserdem untersuchte Rudberg Verbindungen von Blei und Wismuth, bei denen der feste Punct auf 129° C.

1 Kongl. Vetensk. Acad. Handling. 1829. p. 157. Daraus in Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 353 u. Poggendorff's Ann. XVIII. 240. XIX. 125. Quarterly Journ. of Science. N. XI. p. 185.

fällt, der bewegliche dagegen bei Pb^3. Bi^4. zu fehlen scheint. Legirungen von Zink und Wismuth haben den festen Punct bei 251°, diejenige Verbindung aber, wo der sich bei allen zeigende bewegliche Punct wegfällt, wurde nicht aufgefunden. RUDBERG entnimmt hieraus die interessante Folgerung, daſs aus dem einen Metalle und einem Theile des andern nach einfachen Atomenverhältnissen eine innige Verbindung gebildet wird, die er *chemische Legirung* nennt, der Ueberschuſs des einen Metalles bleibt dann mit der chemischen Legirung mechanisch gemengt. Ist die Verbindung der Metalle so, daſs nur die chemische Legirung entsteht, so wird bei ihrer Erstarrung die latente Wärme frei, und dieses giebt den einfach vorhandenen festen Stillstandspunct; ist aber vom andern Metalle ein Ueberschuſs vorhanden, so tritt durch die Erstarrung desselben der bewegliche Stilltstandspunct ein [1], obgleich das erstarrte Metall in der noch flüssigen chemischen Legirung verbreitet ist. Für Legirungen aus Blei, Zinn und Wismuth fällt der feste Stillstandspunct allezeit auf 98°, übrigens aber scheinen ternäre Legirungen gleichfalls einen festen und zwei bewegliche Stillstandspuncte zu haben, was aber noch nicht genügend untersucht worden ist.

458) Wenn nun aus dem Gesagten unzweifelhaft hervorgeht, daſs die genannten leichtflüssigen Metalle sowohl einzeln, als auch mit einander vereint beim Uebergange in den Flüssigkeitszustand Wärme binden und umgekehrt beim Erstarren frei machen, so muſste sehr daran liegen, die Gröſse der bei ihnen latent und wieder frei werdenden Wärme wenigstens annähernd eben so genau zu bestimmen, als dieses beim Eise geschehen ist. RUDBERG suchte auch diese Frage zu beantworten, dabei schien ihm aber die früher von BLACK, IRVINE und Andern befolgte Methode der Mischung mit Wasser durchaus ungenügend, weil auſser den durch die Dampfbildung des Wassers entstehenden Schwierigkeiten drei Antheile der Wärme erhalten werden, die der Metalle bis zum Puncte der Erstarrung, die beim Gestehen frei werdende latente, und die dann noch vorhandene bis zum Puncte der gemeinschaftlichen Temperatur,

1 Es versteht sich, daſs der bewegliche Stillstandspunct allezeit höher liegt, als der feste, weil alle einzelne Metalle streng-flüssiger sind, als ihre Legirungen. §. 510.

welche drei man nicht von einander zu trennen vermag. RUDBERG verwarf daher diese ältere Methode, und wählte die der Abkühlung [1]. Hierbei liefs er das zu untersuchende Metall innerhalb derjenigen Temperatur, bei welcher die Erstarrung eintritt, um 10° C. erkalten, verglich die hierzu erforderliche Zeit mit derjenigen, welche der nämliche, mit Quecksilber gefüllte, Tiegel in der nämlichen Umgebung für das Erkalten um gleiche 10 Grade bedurfte, und so gab die Vergleichung beider die durch das Erstarren frei gewordene, vorher latente Wärme, da die specifische Wärme des Quecksilbers, selbst in höheren Graden, durch DULONG und PETIT bekannt, mithin sein wirklicher Wärmeverlust mefsbar ist. Heifst die Masse des Quecksilbers m, dessen Wärmecapacität für die erforderliche Temperatur c', so ist sein Wärmeverlust durch die Abkühlung um 10 Grade = 10 m c'; heifst ferner die Masse des erkaltenden Metalls M, dessen latente Wärme L und seine Wärmecapacität für die erforderliche Temperatur C, so ist sein gesammter Wärmeverlust = M (L + 10 C). Heifst endlich die Zeit des Erkaltens des Tiegels mit Quecksilber t, mit dem Metalle T, so erhält man

$$M(L+10C) : 10\,m\,c' = T : t$$

und mit Rücksicht auf den Tiegel, dessen Masse μ und Wärmecapacität c'' heifsen möge,

$$M(L+10C) + 10\,\mu\,c'' : 10\,(m\,c' + \mu\,c'') = T : t,$$

1 Bei der Wichtigkeit des vorliegenden Problems wird es erlaubt seyn, Folgendes zu bemerken. Auch die Methode der Abkühlung, wie sie durch RUDBERG angewandt wurde, ist für alle Körper unzulässig, deren Schmelzpunct höher liegt, als der Siedepunct des Quecksilbers, wahrscheinlich aber liefse sich die Frage durch die Methode der Mischungen auch bei diesen mit ziemlicher Genauigkeit beantworten. Darf man voraussetzen, dafs sich auch die höheren Temperaturen durch die thermoelektrischen Apparate (Bd. IX. S. 998 ff.) genau messen lassen, so darf man nur nach der Analogie des beim Eise mit so grofser Leichtigkeit in Anwendung gebrachten Verfahrens den Schmelzpunct des zu untersuchenden Metalles genau ermitteln, dann dasselbe bis zu diesem Puncte erhitzen und von demselben geschmolzenen und bis zu einer weit höheren Temperatur erhitzten Metalle so viel hinzusetzen, bis das noch starre Metall geschmolzen ist, um aus beider Massen und Temperaturen die latent gewordene Wärmemenge zu finden.

woraus

$$L = \frac{10\,(m\,c + \mu\,c'')\,T}{M\,t} - 10\left(C + \frac{\mu}{M}\,c''\right)$$

gefunden wird. Da der Werth von c'' nur klein ist und ohnehin in der Formel sowohl additiv, als auch subtractiv vorkommt, so kann man diese Größe füglich vernachlässigen und erhält dann einfacher:

$$L = 10\,.\,c'\,\frac{m\,T}{M\,t} - 10\,.\,C.$$

Es nehmen außer aus den Versuchen von Dulong und Petit für Quecksilber $10\,c' = 0{,}365$, d. h. dieses Metall giebt durch sein Erkalten von 230° bis 220° so viel Wärme ab, als erforderlich ist, eine Wassermenge 0,365 seines Gewichts um 1° C. zu erwärmen. Die Wärmecapacität des Zinns ist nach den genannten Gelehrten 0,0514, und wenn man die Zunahme derselben in höheren Temperaturen der des Quecksilbers gleich annimmt, so erhält man $10\,C = 0{,}586$. Werden diese Werthe in der Formel substituirt, wenn $T = 340$ Sec., $t = 24{,}5$ Sec., $M = 252{,}97$ und $m = 421{,}16$ Gramm Zinn ist, so findet man

$$L = 13{,}314.$$

Für Blei ist $T = 171$ Sec., $t = 12$ Sec., $M = 372{,}05$ Gramm, $10\,c' = 0{,}385$ und $10\,C = 0{,}352$, mithin

$$L = 5{,}858.$$

Es ergiebt sich zugleich, daſs bei dieser Methode nicht bloſs der Stand des Thermometers, sondern insbesondere auch die Länge Zeit der Erkaltung des Quecksilbers scharf beobachtet werden muſs, weil ein kleiner Fehler in der Bestimmung von T bedeutende Unrichtigkeiten in dem Werthe von L herbeiführt.

Stellen wir hiernach die bis jetzt aufgefundenen Bestimmungen der latenten Wärme fester und tropfbar-flüssiger Körper zusammen, die allerdings von sehr ungleichem Werthe sind, so erhalten wir folgende Uebersicht.

Substanzen	Latente Wärme absolute	relative	Beobachter.
Wasser	75,000	1,0000	Lavoisier und Laplace
	80,000	1,0000	Black
	72,000	1,0000	Wilke
Spermaceti	80,555	1,0740	Irvine sen.
weifses Wachs . . .	87,222	1,1629	Irvine sen.
Zinn	277,777	3,7030	Irvine jun.
	13,314	0,1775	Rudberg
Wismuth	305,555	3,2740	Irvine jun.
Blei	90,000	1,2000	Irvine jun.
	5,858	0,0781	Rudberg
Zink	273,888	3,6518	Irvine jun.
Schwefel	79,777	1,0637	Irvine jun.
Quecksilber	86,666	1,1555	Hassenfratz

Bei den meisten Körpern kann man auf einfache Weise wahrnehmen, dafs sie beim Uebergange aus dem festen in den tropfbar-flüssigen Zustand Wärme binden, namentlich bei den Metallen, die verhältnifsmäfsig gute Wärmeleiter sind. Werden diese erhitzt, und darf man voraussetzen, dafs sie in ihrer ganzen Masse eine gleichmäfsige Wärme haben, so müfsten sie bei anfangendem Schmelzen sofort gänzlich flüssig werden; dagegen aber gewahrt man, dafs es eine geraume Zeit dauert, bis die letzten Antheile geschmolzen sind, auf jeden Fall eine längere, als erfordert wird, um die Wärme in das Innere der nicht geschmolzenen Massen fortzuleiten. Man könnte bei Anwendung einer constanten Wärmequelle aus der Zeit zwischen der beginnenden bis zur vollendeten Schmelzung mindestens annähernd die Quantität der latenten Wärme bestimmen.

459) Die grofse Wärmecapacität des Wassers ist in der Natur vom bedeutendsten Einflusse; denn bei der überwiegenden Menge dieser überall vorhandenen Flüssigkeit vermag sie die erzeugte zu grofse Hitze zu mildern und die zu strenge Kälte zu mäfsigen, indem sie eine so grofse Menge der erzeugten Wärme aufnimmt und bei Verminderung der Temperatur wieder abgiebt, worauf die verhältnifsmäfsig geringere Veränderlichkeit des Insel- und Küsten-Klimas beruhet; noch ungleich wichtiger aber ist der Einflufs der latenten und wieder frei werdenden Wärme beim Schmelzen und Entstehen des Eises. Wenn das Wasser durch eine auf 0° C. herabgehende Tempe-

ratur ohne Abgabe seiner latenten Wärme gefröre, so würden sofort alle Flüsse und Teiche bei der ersten eintretenden, bis unter 0° C. herabgehenden Kälte in Eis verwandelt werden und Wasser wäre nur durch künstliche Heizmittel zu erhalten. Indem aber das gefrierende Wasser bei seiner Verwandlung in Eis so viel latente Wärme abgiebt, als hinreicht, eine 75mal so grofse Menge um 1° C. zu erwärmen, so gefriert allezeit nur ein kleiner Theil, während der bei weitem gröfsere die frei gewordene Wärme aufnimmt; die erzeugte Eisdecke ist aufserdem ein schlechter Leiter, durch den die frei gewordene Wärme nicht leicht dringt, und so überschreitet die Dicke des Eises unter mittleren Breiten nie 1 bis 3 Fufs, unter höheren etwa 3 bis 6 und in den kältesten Regionen der Erde nie 10 bis 12 Fufs, tiefere Landseen können aber nicht bis auf den Grund gefrieren. Ein entgegengesetzter grofser Nutzen zeigt sich beim Zergehen des Eises. Würde hierbei nicht eine so grofse Menge Wärme gebunden, so müfste beim Uebergange der Temperatur über den Nullpunct sofort die gesammte vorhandene Masse von Eis und Schnee in Wasser verwandelt werden und die furchtbarsten Ueberschwemmungen anrichten, kurz ohne die latente Wärme des Wassers würde die Erde bei den ihr eigenthümlichen Temperaturverhältnissen ganz unbewohnbar seyn. Von ihr macht man auch technischen Gebrauch. Die Landbewohner stellen im Frühjahr zum Schutze gegen die Nachtfröste Gefäfse mit Wasser unter die Bäume und führen Strohseile von den Zweigen in das Wasser herab, indem sie behaupten, das Wasser ziehe die Kälte an; ebenso stellen sie in nicht tiefen Kellern solche Gefäfse aus gleichem Grunde neben die Kartoffeln. Die Erfahrung des hierdurch gewährten Schutzes ist richtig, aber die Erklärung falsch; denn da es keine Kälte als eigenthümlichen Stoff giebt, so kann sie auch nicht abgeleitet werden, dagegen entbindet das Wasser bei seiner Verwandlung in Eis eine bedeutende Menge Wärme, welche die in seiner Nähe befindlichen Gegenstände nicht so weit unter 0° C. herabgehen läfst, als zum Gefrieren derselben erforderlich ist; die Strohseile dienen aber nicht als Ableiter, sondern sie machen die Luft minder beweglich, wenn kein Wind herrscht, und hindern dadurch das Fortführen des in der Nähe des Wassers erwärmten Theiles.

460) Eine weit gröfsere Menge Wärme wird latent, wenn

tropfbare Flüssigkeiten in Dampfform übergehn, als wenn feste Körper flüssig werden, und auch hierbei zeigt sich, dafs der Wasserdampf die gröfste Quantität latenter Wärme besitzt. Schon der Analogie nach müfsten wir schliefsen, dafs beim Uebergange des Dampfes zur Form tropfbarer Flüssigkeit eine gleiche Wärmemenge wieder frei wird, als welche vorher gebunden wurde. Hiernach gelten folgende allgemeine *Gesetze:* 1) Feste Körper binden Wärme, wenn sie in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen; 2) tropfbare Flüssigkeiten geben ihre latente Wärme ab, wenn sie fest werden; 3) eben dieselben binden eine noch weit gröfsere Menge von Wärme, um die Dampfform anzunehmen; 4) die Dämpfe aber geben ihre latente Wärme wieder ab, wenn sie in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurückkehren. Auf den beiden letzteren Sätzen beruhet die *latente Wärme* der Dämpfe und ihr Unterschied von der *sensibeln* derselben, worüber indefs das Nöthige bereits gesagt worden ist [1], und die etwa hinzugekommenen Nachträge eignen sich daher am besten für die im folgenden Abschnitte anzustellenden Untersuchungen über die Dampfbildung. Bei der grofsen Aehnlichkeit zwischen Dämpfen und *Gasen* ist wohl nicht zu bezweifeln, dafs auch in den letzteren latente Wärme enthalten ist, die bei ihrem Uebergange zur Form tropfbarer Flüssigkeiten oder fester Körper wieder frei wird; auch berechtigen eine Menge Erscheinungen zu dieser Annahme [2], allein eigentliche Gröfsenbestimmungen sind hierüber noch nicht vorhanden.

Werden Körper, welche beim Uebergange in den Zustand der Flüssigkeit oder aus diesem in Dampfform Wärme latent machen, solchen Bedingungen ausgesetzt, wodurch diese Formveränderung ohne äufseren Wärmezuflufs eintritt, so erkalten sie nicht blofs selbst, sondern entziehen auch den umgebenden Gegenständen Wärme, und zwar um so viel mehr, je rascher diese Veränderung erfolgt. Dieses wurde nicht blofs schon in älteren Zeiten wahrgenommen, sondern man benutzte auch dieses Mittel häufig zur Erzeugung *künstlicher Kälte*, wie man dieses nannte. Um beide Verfahrungsarten zu trennen, möge hier zuerst von dem Uebergange fester Körper in den Flüssigkeitszustand die Rede seyn.

---

1 S. Art. *Dampf, latente Wärme* desselben. Bd. II. S. 287 ff.

2 Vergl. Art. *Gas, Wesen der Gasform.* Bd. IV. S. 1048.

461) Das einfachste Verfahren besteht darin, daſs man einen oder mehrere feste Körper in einer geeigneten Flüssigkeit löst. Reaumur[1] bemerkte, daſs 1 Pfund Kochsalz in 3 bis 4 Pinten Wasser geschüttet dessen Temperatur um 5° bis 7°,5 C. herabsinken mache, ja es giebt noch weit ältere, wegen noch mangelnder Thermometer nicht genau gemessene Versuche dieser Art von R. Boyle[2], welcher die Verminderung der Temperatur durch die Auflösung des Salmiaks in Wasser wahrnahm und eine weit stärkere durch die Auflösung des Schnees oder Eises in Säuren oder durch Zusatz von Salzen entstehn sah. Dieser eifrige Gelehrte erlernte durch Erfahrung, was nach den Gesetzen der latenten Wärme, an die man damals noch nicht dachte, nothwendig folgt. Schnee und Eis binden zwar beim Uebergange in den tropfbar-flüssigen Zustand eine Menge Wärme, allein sie können ebenso wenig, als alle andere Körper, namentlich krystallisirte Salze, durch bloſses Schmelzen eine Temperaturverminderung hervorbringen, weil sie sich nicht selbst die zum Zergehn erforderliche Wärme entziehen können, worauf beim Schnee die Fixität des Schmelzpunctes beruhet. Bringt man dagegen Wasser zu krystallisirten, ihres Krystallisationswassers noch nicht beraubten Salzen, so zergehn sie und bringen dadurch in Folge der latent werdenden Wärme, die sie den Umgebungen entziehn, Kälte hervor, die jedoch nicht tiefer herabgehn kann, als bis zu dem Puncte, bei welchem die Salze aus der gegebenen Lösung krystallisiren würden, diesen tiefsten Punct aber aus leicht begreiflichen Gründen nie wirklich erreicht. Salzwasser mit Schnee vereint befördert dagegen sein Zerflieſsen und erzeugt Kälte, noch mehr geschieht dieses durch verdünnte Säuren, welche auch mit sonstigen krystallisirten Salzen bedeutende Kälte hervorbringen. Vereinigt man zwei oder mehrere Körper, welche durch diese Verbindung zur tropfbaren Flüssigkeit übergehn, so muſs dadurch noch mehr Wärme gebunden werden, und zwar in zunehmender Progression so viel stärker, je schneller die Auflösung erfolgt. Das ganze Problem kommt also einfach darauf hinaus, diejenigen Körper aufzufinden, welche die für den jedesmaligen Zweck erforderliche Kälte am leichtesten erzeugen, und die Untersuchung darf sich

1 Mémoires de l'Acad. 1734.

2 Hist. experimentalis de frigore. Lond. 1665. 4. Philos. Trans. N. 15.

darauf beschränken, dasjenige nachzuweisen, was in dieser Beziehung bisher geleistet worden ist.

Zahlreiche Versuche dieser Art wurden im vorigen Jahrhundert, und zwar schon in der ersten Hälfte desselben, angestellt. REAUMUR[1] brachte sein Weingeistthermometer durch 4 Theile geschabtes Eis mit 2 Theilen Kochsalz auf — 15°; Salmiak und Salpeter brachten dasselbe auf — 13° und — 11°, Steinsalz aber auf — 17°. FAHRENHEIT[2] schmolz Schnee durch verdünnte Salpetersäure, die beide vorher stark erkältet waren, und brachte dadurch sein Thermometer auf — 40° F.; BRAUN und KRAFT[3], nachher BRAUN allein, brachten durch dieses Mittel hohe, aber wegen des gebrauchten Quecksilberthermometers nicht genau gemessene, Grade der Kälte hervor, wodurch das Quecksilber gefror. Die noch stärkere Wirksamkeit der verdünnten Schwefelsäure prüfte vorzüglich I. Mc. NAB[4] und brachte dadurch das Quecksilber gleichfalls zum Gefrieren, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, daſs ihm die groſse natürliche Kälte der Hudsonsbay ebenso, wie den Akademikern zu Petersburg die daselbst herrschende zu statten kam. NAB[5] fand die verdünnte Schwefelsäure mit Schnee am wirksamsten, demnächst rauchende Salpetersäure, weniger Kochsalz und Salmiak, am wenigsten Salpeter. Concentrirte Salpetersäure erzeugt mit Schnee verbunden anfangs Wärme, noch mehr concentrirte Schwefelsäure, weil das zuerst aus dem Schnee aufgenommene Wasser stark gebunden wird; sobald aber die dann verdünnte Säure ein rasches Schmelzen des Schnees bewirkt, wird Wärme in groſser Menge gebunden. Auch der Weingeist bewirkt ein rasches Schmelzen des Eises[6], ebenso

---

1 Mémoires de l'Acad. 1734. Viele noch ältere Beobachtungen erwähnt CIGNA in Miscellanea Taurinensia. T. II. p. 143.

2 BOERHAVE Elem. Chym. de Igne Exp. IV. Coroll. 3.

3 Nov. Comm. Soc. Pet. T. X. p. 268.

4 Philos. Trans. T. LXXVI. p. 421.

5 An account of experiments made by Mr. J. Mc. NAB at Henley House, Hudsons Bay. By HENRY CAVENDISH. Lond. 1786. 4.

6 Dieses wurde neuerdings vorzüglich durch TRALLES wahrgenommen, welcher mit Alkohol und Schnee, beide bis 0° C. erkaltet, eine Kälte von — 30° C. hervorbrachte, und wenn der Alkohol sehr rein war, selbst bis — 36°,8. G. XXXVIII. 365. Einer Auflösung des Schnees in Alkohol bediente sich auch PARRY auf der Insel Melville, um die ohnehin enorme äuſsere Kälte noch mehr zu verstärken. S. §. 506.

Salmiakgeist und alkalische Lösungen, worüber früher eine Menge Versuche angestellt worden sind, so wie mit Oelen und sonstigen Flüssigkeiten durch Geoffroy[1] und Musschenbroek[2], deren Resultate man auch ohne dieses Mittel aus dem Verhalten dieser Flüssigkeiten gegen das Wasser hätte bestimmen können. Am bekanntesten sind unter den älteren Versuchen diejenigen, welche Richard Walker[3] bekannt gemacht hat, wonach unter allen Mischungen die aus 2 Th. rauchender Salpetersäure mit 1 Th. Wasser und 4 Th. pulverisirtem Glaubersalze, wozu dann noch 3,5 Th. gepulverter Salpetersalmiak geschüttet werden, die gröfste Kälte erzeugen soll. Waren die Salze recht durchsichtig und gut gepulvert, so brachten sie das Thermometer von 0° auf — 28° C. Insbesondere beschäftigte sich auch Lowitz[4] viel mit Untersuchungen dieser Art und brachte durch Schnee mit krystallisirtem ätzenden Kali das Quecksilber selbst im warmen Zimmer zum Gefrieren. Walker[5] erreichte eben dieses im Sommer und selbst ohne Schnee. Er nahm dazu ein Gemisch aus 2 Th. rauchender Salpetersäure, 1 Th. Schwefelsäure und 1 Th. Wasser, erkältete dieses in einer kaltmachenden Mischung bis — 34° C., gofs es auf pulverisirtes, gleichfalls bis — 25° C. abgekühltes Glaubersalz, und als das Thermometer hierin bis — 47°,78 C. herabsank[6], hing er eine Glaskugel, die bis ¾ mit Quecksilber gefüllt war, hinein, worauf das Metall sofort gefror. Zu gewöhnlichen Erkältungsversuchen empfiehlt Walker[7] gleiche Theile Salmiak und Salpeter mit reinem Wasser; sie erzeugen, in hinlänglicher Quantität angewandt, leicht eine zur Eisbildung genügende Kälte, und gewähren den Vortheil, dafs man durch Abdampfen die Salze zu neuem Gebrauche wieder gewinnt. Bei späteren

1 Mém. de l'Acad. 1727 u. 1728.

2 Tentam. Acad. del Cimento. Lugd. Bat. 1731. 4.

3 Phil. Trans. T. LXXVII. p. 282. T. LXXVIII. p. 277. Ueb. in Gren's Journ. d. Phys. Th. I. S. 419.

4 Crell's chem. Ann. 1793. Th. I. S. 852.

5 Philos. Trans. T. LXXIX. P. II. p. 199; daraus in Gren's Journ. d. Phys. Bd. II. S. 358. S. dessen Neues Journ. Bd. III. S. 458.

6 Letztere Angabe kann auf jeden Fall nicht richtig seyn, da sie tiefer ist, als der Gefrierpunct des Quecksilbers. S. §. 504. Die Ursache liegt in der Zusammenziehung des Quecksilbers.

7 Philos. Mag. New Ser. N. III. p. 401. N. IV. p. 11. Vergl. Philos. Trans. 1801. p. 123.

Versuchen wandte er gleichfalls den salzsauren Kalk an, welchen er bereitete, indem er Salzsäure mit 3 Th. Wasser verdünnte, dann mit Kreidepulver sättigte, abklärte und zur dünnen Syrupsdicke von 1,45 spec. Gewicht abdampfte, worauf die Krystallisation bei 0° Temperatur erfolgte. Hiermit erhielt er folgende Resultate, indem er die kaltmachenden Substanzen vorher mehr oder minder tief erkältete:

3 Th. salzs. Kalk,	2 Th. Schnee	bei	0°	gaben	— 45,°5 C.
2 — — — ,	1 —	—	— —17,5	—	54,0 —
3 — — — ,	1 —	—	— —40,0	—	58,0 —

Wurde der salzsaure Kalk bei Temperaturen über 0° C. bereitet, so mufste er bis 1,49 spec. Gewicht eingedickt werden. Mit solchem erzeugte er folgende Kältegrade:

5 Th. salzs. Kalk,	4 Th. Eispulver	bei	0°	gaben	— 40°,5 C.
4 — — — ,	3 —	—	— — 6,5	—	44,0 —
4 — — — ,	3 —	—	— —12,0	—	47,5 —
3 — — — ,	2 —	—	— —26,0	—	55,5 —

Um Wasser zu gewöhnlichen Versuchen bequem gefrieren zu machen, empfiehlt Walker[1] einen sehr zweckmäfsigen Apparat. Dieser besteht aus einem weiten cylindrischen zinnernen Gefäfse mit dicken Wandungen, worein ein anderes gleich hohes mit dünnen Wandungen gesetzt wird. Dieses besteht aus zwei verbundenen concentrischen hohlen Cylindern, deren Zwischenraum das Wasser oder die zu erkältende Substanz ausfüllt, die somit an beiden Seiten von der kaltmachenden Mischung eingeschlossen ist, womit man das äufsere Gefäfs und den innern Cylinder anfüllt. Hierzu empfiehlt er gleiche Theile gepulverten Salmiak und Salpeter, die mit Wasser von 10° C. gemischt —12° C. erzeugen. Wirksamer ist folgende Mischung: 3 Unzen Salmiak; 3 Unzen Salpeter, zusammen gepulvert; 4,5 Unzen schwefelsaures Natron für sich gepulvert, alles gemengt, mit 10 Unzen Wasser von 10° gemischt; diese giebt —15°,5 C. Erstere Substanzen kann man mehrmals anwenden, die letzteren nicht. Nach Bischof[2] erzeugt eine Mischung aus 5 Th. Schwefelsäure, 3,3 Wasser und 10,4 Th. fein pulverisirtes krystallisirtes Glaubersalz eine Kälte, die bei 12° C. äufserer Temperatur bis — 25° C. herabgeht. Hat man Eis oder Schnee, natürlich oder durch Kunst bereitet, zur

---

1 Philos. Mag. and Ann. of Phil. N. XVIII. p. 401.

2 Schweigger's Journ. 1828. I. 370.

Disposition, so ist salzsaurer Kalk, den LOWITZ[1] zuerst hierzu anwandte, am geeignetsten zur Erzeugung sehr intensiver Kälte, da diese Substanz ohnehin bei der Bereitung des ätzenden Ammoniaks als Nebenproduct in Menge gewonnen wird.

462) Die Physiker sind so fleifsig gewesen, die Gefrierpuncte der verschiedenen, schwergestehenden Flüssigkeiten aufzufinden, und haben dabei die Wirkungen der Kälte erzeugenden Mischungen in so grofser Zahl und unter so vielfachen Modificationen untersucht, dafs es ermüdend seyn würde, dieses alles einzeln aufzuführen, da die an sich einfache Aufgabe durch öftere Wiederholung ähnlicher oder gleicher Angaben nicht gewinnt. Eine, wenn auch nur kurze, Erwähnung verdienen jedoch die zahlreichen Versuche verschiedener Gelehrten, welche GILBERT[2] zusammengestellt hat, vorzugsweise aber die von FOURCROY und VAUQUELIN[3]. Bei — 8°,75 äufserer Temperatur brachten sie mit 3 Th. Schnee und 1 Th. Schwefelsäure (4 Th. Säure 1 Th. Wasser) — 32°,5; mit 1 Th. krystallisirtem salzs. Kalk und 2 Th. Schnee — 42°,5 und mit 8 Th. salzsaurem Kalk und 6 Th. Schnee — 48°,75 C. hervor, und machten darin unter andern das Quecksilber gefrieren. Bei — 7°,5 C. mischten sie 27 Unzen salzs. Kalk mit 18 Unzen Schnee, sahen darin das Weingeistthermometer bis — 47,5 herabgehn und brachten zwei Unzen Quecksilber zum Gefrieren, doch gelang ihnen dieses nicht mit 8 Unzen; als sie aber ein Gemenge von 8 Unzen salzs. Kalkerde und 6 Unzen Schnee in der ersten Mischung erkälteten, sank das Thermometer in der letzteren bis — 53°,75 und die 8 Unzen Quecksilber gefroren. GUYTON[4] bediente sich bei seinen Versuchen einer

---

1 Nov. Acta Petrop. T. XI. Hist. p. 8. T. XII. p. 297. Crell's chem. Ann. 1793. St. I. S. 352. Ann. de Chim. T. XXII. p. 297. Den salzsauren Kalk präparirte er bei einer Temperatur unter dem Gefrierpuncte, damit er mehr Krystallisationswasser behielt. Die Krystalle pulverte er fein, siebte sie durch einen Flor oder ein Haarsieb, hob das Pulver in der Kälte auf und vermischte 3 Theile desselben mit 2 Th. lockerem Schnee, wodurch er die Temperatur leicht von 0° bis auf — 45°,5 C. herabzubringen vermochte.

2 Dessen Annalen. Bd. I. S. 479.

3 Ann. de Chimie T. XXIX. N. LXXXVII. p. 281. G. II, 107. Scherer's Journal d. Chemie. Bd. III. S. 49.

4 Ann. de Chim. T. XXXIX. p. 290.

Mischung aus 6 Th. Schnee und 9 bis 10 Th. salzs. Kalk, den er, weil er stark eingedickt war, fein pulverte und durch ein Haarsieb beutelte, VAN MONS aber versichert, durch eine Mischung von salzsaurem Kalk und festem kaustischen Natron eine Kälte von — 53° hervorgebracht zu haben. Durch Alkohol, und zwar absoluten, mit Schnee, beide bei 0° Temperatur, brachte TRALLES[1] eine Kälte von —37° C. hervor. Bei den in der polytechnischen Schule zu Paris angestellten Versuchen[2] wurde zuerst die Salpetersäure mit Wasser verdünnt, bis sie 1,42 specif. Gewicht hatte, dann in einer Mischung aus 3 Th. Schnee und 1 Th. Meersalz bis — 21°,25 erkältet und zum Schnee gegossen, wodurch eine Kälte von — 39° C. entstand, die das Quecksilber gefrieren machte.

Man darf wohl annehmen, daſs alle krystallinische Salze, wenn sie ihres Krystallisationswassers nicht beraubt sind, beim Zerflieſsen eine groſse Menge Wärme binden und dadurch Kälte erzeugen, denn im entgegengesetzten Falle, wenn sie zu stark ausgetrocknet sind, nehmen sie die ersten Antheile des mit ihnen vereinten Wassers so begierig in sich auf, daſs sogar der sonst so starke Kälte erzeugende salzsaure Kalk eine bedeutende Hitze entwickelt. Eine zweite Bedingung ist dann, daſs die Salze fein gepulvert sind, damit ihre Auflösung im Wasser und in verdünnten Säuren schnell erfolge; auſserdem nehmen manche derselben, namentlich der salzsaure Kalk, in der feinen Pulverform das verlorne Krystallisationswasser wieder an, weswegen man sie auf der andern Seite gegen das freiwillige Zerflieſsen sichern muſs. Die wesentlichste Bedingung des Gelingens ist aber, daſs der allerdings bedeutenden erzeugten Kälte nicht zu viele Wärme von auſsen zugeführt wird. Zu diesem Ende muſs man verhältniſsmäſsig groſse Massen anwenden, wenn die äuſsere Umgebung nicht kalt ist, denn die Oberfläche der Gefäſse, worin die kaltmachende Mischung sich befindet und in welche die Wärme von auſsen einstrahlt, wächst in einem geringeren Verhältnisse, als die darin enthaltene Masse. Am rathsamsten ist es daher, ein äuſseres tiefes und groſses Gefäſs mit kaltmachender Mischung zu wählen, in dieses ein kleineres, gleichfalls mit erkältenden Substanzen ge-

1 G. XXXVIII. 365.
2 Journ. d. l'École polyt. T. I. p. 123.

füllt, zu setzen, und in letzteres erst die zum Gefrieren oder zum tiefen Erkalten bestimmte Substanz. Unter Umständen kann man auch in das äufsere grofse ein zweites kleineres und in dieses ein drittes, noch kleineres, alle drei mit kaltmachenden Mischungen gefüllt, setzen, wobei jederzeit das innerste zur Aufnahme derjenigen Substanz dient, deren Verhalten unter dem Einflufs grofser Kälte man untersuchen will. Das äufserste Gefäfs besteht am besten aus Holz, Töpferthon oder Porzellan, überhaupt aus einer schlecht leitenden Substanz, um möglichst wenig Wärme von aufsen aufzunehmen, die inneren aus dünnem Metallblech, wenn dieses durch die Säuren nicht angegriffen wird; man beginnt damit, die Mischung im äufsersten zergehn zu lassen und dann zu den folgenden überzugehn, wenn die darin enthaltenen Substanzen möglichst erkaltet sind, wobei sich von selbst versteht, dafs die Säuren und Salze oder der Schnee, jedes für sich allein, erkältet werden müssen, ehe man sie vereinigt. Ein sehr geeignetes Verfahren besteht dann darin, dafs man mittelst gewöhnlicher Kältemischungen zuerst Eis bereitet, dieses dann zerstöfst und als stärker erkältendes Mittel nachher in Anwendung bringt. Die stärkste Kälte wird durch salzsauren Kalk und Schnee oder Eis erzeugt, indem man beide Substanzen, den salzsauren Kalk fein gepulvert, in einzelnen, durch dünne Korkscheiben getrennten Lagen über einander schichtet und sie nach möglichstem Erkälten vermischt. Diejenigen Kältegrade, welche durch die verschiedenen Substanzen erzeugt werden, sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten[1].

---

1 Aus L. Gmelin's Handbuch der theoretischen Chemie. 1827. Bd. I. S. 152.

Substanzen.	Temperatur von	bis
1 Theil Wasser mit		
1 Th. salpetersaurem Ammoniak . .	10° C.	−15,°5C.
$\frac{5}{16}$ Salmiak u. $\frac{5}{16}$ Salpeter	10 —	−12 —
1 Th. salpetersaurem Ammoniak; 1 Th. kohlensaurem Natron	10 —	−13,8 —
0,3 Salmiak; 0,1 Salpeter; 0,6 Chlorkalium	25 —	− 6 —
$\frac{5}{16}$ Salmiak; $\frac{5}{16}$ Salpeter; $\frac{5}{16}$ Glaubersalz	10 —	−15,5 —
1 Th. Schwefelsäure (50 Vitriolöl, 55 Wasser) mit		
1,25 Th. Glaubersalz	10 —	− 8 —
1 Th. verdünnte Salzsäure mit		
1,6 Th. Glaubersalz	10 —	−17,8 —
1 Th. verdünnte Salpetersäure mit		
1 Th. Salmiak; 0,5 Salpeter; 1,5 Glaubers.	10 —	−12 —
1,25 Th. salpetersaur. Ammoniak und 1,5 Glaubersalz	10 —	−10 —
1,5 salpetersaurem Ammoniak und 2,25 phosphors. Natron	10 —	− 6 —
2,25 phosphorsaurem Natron	10 —	−11 —
1,5 Glaubersalz	10 —	−16 —
1 Th. Schnee oder zerstoſsenes Eis mit		
$\frac{1}{4}$ Schwefelsäure (4 Vitriolöl 1 Wass.)	0 —	−32,5 —
1 Th. verdünnte Schwefelsäure . .	− 7 —	−51 —
$\frac{1}{2}$ Th. verdünnte Salpetersäure . . .	− 23 —	−49 —
1 Th. verdünnte Salpetersäure . . .	− 17,8 —	−43 —
1,3 Th. krystallis. Kali	0 —	−28 —
1 Th. Kochsalz	0 —	−17,8 —
1,3 salzsaurem Kalk	0 —	−49,0 —
1,5 salzsaurem Kalk	0 —	−27,8 —
Weingeist	0 —	−10 —
0,625 Salzsäure	0 —	−33 —
0,416 Kochsalz; 0,416 salpeters. Ammoniak	0 —	−31 —
0,4 Kochsalz; 0,2 salzs. Ammoniak .	0 —	−24 —
0,42 Kochsalz; 0,21 Salmiak; 0,21 Salpeter	0 —	−28 —
0,375 verdünnte Schwefelsäure; 0,375 verdünnte Salpetersäure . . .	− 23 —	−48 —

463) Da bei der Dampfbildung flüssiger Körper ungleich mehr Wärme latent wird, als beim Uebergange der festen in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit, so muſs durch künstlich beförderte Verdampfung auch eine noch gröſsere Kälte erzeugt werden, als durch schnelles Schmelzen. Auſserdem hat die durch Auflösungen erzeugte Kälte bestimmte Grenzen, die aber nicht zu erreichen sind, weil allezeit Wärme von auſsen zu-

strömt. So gefriert Salzsoole, je nach ihrer Concentration, bei tieferen Graden, für gesättigte kann etwa — 20° C. angenommen werden, und es ist daher unmöglich, eine gröfsere Kälte durch Salz und Schnee zu erreichen, die sich bei tieferen Temperaturen nicht mehr auflösen würden. Verdünnte Säuren gefrieren bei tieferen Graden nicht, man kann daher gröfsere Kälte durch sie erzeugen; die stärkste durch salzsauren Kalk und Schnee, welche bis — 60° reichen soll. Dagegen findet Verdampfung unausgesetzt statt, und die absolute, dadurch zu erzeugende Kälte läfst sich daher nicht bestimmen, aber auch wegen hindernder Bedingungen nicht erreichen.

Dafs durch Verdunstung Kälte erzeugt werde, mufs wohl schon in den ältesten Zeiten wahrgenommen worden sein, und daher erwähnt auch Musschenbroek [1] als ein bekanntes Phänomen, dafs eine mit Wasser benetzte Thermometerkugel, wenn Luft von gleicher Temperatur dagegen geblasen wird, eine Abnahme der Wärme zeigt; die Sache scheint jedoch erst dann beachtet worden zu seyn, als man vermittelst der Thermometer auch die geringeren Temperaturverminderungen zu messen vermochte, wobei man die seltsamsten Hypothesen über die Ursache dieses Phänomens aufstellte. Richmann [2] nahm wahr, dafs ein Thermometer, dessen Kugel mit Wasser benetzt war, so lange Kälte anzeigte, bis alles Wasser verdunstet war, und leitete dieses von den in der Luft schwebenden kaltmachenden Theilen ab, Mairan [3] dagegen von der Bewegung des die Thermometerkugel umgebenden Wasserhäutchens. Ohne die eigentliche, hierbei wirksame Ursache genauer anzugeben, stellten Baumé [4] und hauptsächlich Cavallo [5] mehrere Versuche an, die ihnen die bei verschiedenen Flüssigkeiten sehr ungleiche Verdunstungskälte zeigten, namentlich die sehr starke durch Schwefeläther erzeugte. So brachte Letzterer mitten im Sommer hierdurch das Thermometer innerhalb zwei Minuten von 18° C. auf −16° herab, wobei er bemerkte, dafs das Thermometer im Wasser bis — 7°,75 herabsank, ehe Eisbildung erfolgte, statt dafs diese

1 Essai de Physique §. 962.

2 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 290. Nouv. Mém. de Petersb. Ann. 1747 u. 48. p. 284.

3 Dissert. sur la glace. P. II. Sect. II. cap. 8 u. 9.

4 Mémoires présentés T. V. p. 405.

5 Philos. Trans. T. LXXI. P. II.

im Winter schon bei — 1° eintrat. Der Erste, welcher die Verdunstung als nächste Ursache der Kälteerzeugung angab, scheint Cullen[1] gewesen zu seyn, und so fanden denn auch Cigna[2], Braun[3], Achard[4], Lavoisier[5] und Andere, dafs die erzeugte Kälte mit der Stärke der Verdunstung wachse, denn in Oele oder Säuren getaucht zeigte das Thermometer gar keine Kälte, mit concentrirten Säuren sogar Erhitzung. Schnelles Erneuern der Luft verstärkt die Verdunstung und erhöht dadurch die erzeugte Kälte, weswegen Achard bei seinen Versuchen, das Quecksilber gefrieren zu machen, die Wirkung der künstlichen Kältemischungen durch Benetzen mit Schwefeläther, gegen den er stets Luft blies, zu verstärken suchte. Die Erzählung[6], dafs man durch bloſse Verdunstungskälte das Quecksilber zum Gefrieren gebracht habe, erklärte übrigens Braun[7] für eine Fabel, weil dadurch nur eine Kälte von — 15° nach de l'Isle zu erreichen sey. Als schon die Lehre vom latenten Wärmestoff anfing bekannt zu werden, schwankten die Physiker noch, ob sie das Latentwerden der Wärme in Folge der Dampfbildung oder die *Expansion der Luft* als Ursache der erzeugten Kälte betrachten sollten. Darwin[8] neigt sich mehr zur letzteren Ansicht, denn er erinnerte, dafs der Luftstrom aus einer Windbüchse das Thermometer um mehrere Grade fallen mache, auch sinke dasselbe unter der Campane der Luftpumpe um 2 bis 3 Grade, wenn man exantlire. In den bleiernen Windkessel einer Wasserkunst zu Derby war ein Loch von der Gröſse einer Rabenfeder gebohrt, und wurde dann ein Thermometer der daraus strömenden Luft ausgesetzt, so sank es mehrere Grade, wogegen Gruber[9] erinnerte, dafs die mechanische Ausdehnung

---

1 Neue Edinburgische Versuche. 1756. Bd. II. S. 145. Ebend. 1776.

2 Dieser zählt eine Menge ältere Beobachtungen auf und vermehrt sie durch eigene. S. Miscellanea Taurinens. T. II. p. 151.

3 Nov. Comm. Petrop. T. X. p. 309. In Hamb. Magaz. Bd. IV. S. 369.

4 Beschäftigungen d. Berl. naturf. Ges. 1775. Bd. I. S. 112. Journ. de Ph. T. XVI. p. 174.

5 Mém. de l'Acad. 1777. p. 425.

6 In Gentleman's Magazine. 1761. p. 405.

7 Nov. Comm. Pet. T. XI. p. 318.

8 Philos. Trans. 1788. T. LXXVIII. p. 43. Gren's Journ. Bd. 1. S. 73. Gothaisches Magaz. Th. VII. St. 1. S. 127.

9 Gren's Journ. d. Phys. Bd. III. S. 188.

der Luft nicht unmittelbare Ursache der Kälte seyn könne, weil sonst im Boyle'schen und Torricelli'schen Vacuum noch größere Grade der Kälte herrschen müßten, die weggeschaffte Luft dagegen führe die Wärme mit sich fort; was eigentlich so gut wie nichts gesagt ist. Cavallo[1] ließ bei seinen Versuchen den Aether aus einem in ein Haarröhrchen endigenden Trichter auf die Thermometerkugel tröpfeln, und erhielt dann durch stetes Zuführen frischer, nicht mit Dampf erfüllter, Luft einen hohen Grad von Kälte, de Saussure[2] aber befestigte auf dem Col du Geant an der Kugel seines Thermometers einen feuchten Schwamm und schwenkte das Thermometer an einer Schnur mit größter Schnelligkeit in der Luft, wodurch er eine Erkältung von 10 Graden zu erzeugen vermochte; wenn er aber die Kugel eines kleinen Thermometers mit feiner Leinwand umwickelte, in Aether tauchte und nach dem Herausziehen mäßig schnell in der Luft bewegte, so konnte er eine Erkältung von 33 bis 34 Graden hervorbringen. Unter die älteren Versuche, welche sämmtlich aufzuzählen kaum die Mühe lohnt, gehören ferner die von Baux[3], welcher ein mit Wasser befeuchtetes Thermometer sinken sah, und die von Franklin[4], welcher eben dieses mit Weingeist bewerkstelligte. Wasser und viele andere Flüssigkeiten verdunsten stets, und die Geneigtheit der Wärme, mit ihnen Dampf zu erzeugen, ist so groß, daß die Oberfläche der Seen und des Meeres bei vorhandener Ruhe sich stets etwas kälter zeigt, als die übrige Wassermasse; bedeutend verstärkt wird aber diese Wirkung, wenn die vertheilten Flüssigkeiten eine große Oberfläche darbieten. Unter andern maß G. Bischof[5] die Temperaturen in der Nähe des Staubbachs, und fand neben dem Wasserfalle 8°,5 C., vor der Auberge 11°, die Temperatur des Wassers 50 Fuß vom Falle 8°,75, die der Quellen in derselben Höhe aber 11°,1; 11°,25 und 13°,75, woraus die durch die Verdampfung erzeugte Kälte sichtbar hervorgeht. Hierhin gehört auch die Abkühlung des Trink-

1 Voigt's Magazin. Bd. II. S. 242.

2 Journ. de Phys. 1789. Mars. Uebers. in Gren's Journ. d. Phys. Bd. I. S. 160.

3 Hist. de l'Acad. 1753.

4 Exper. Observat. T. II. p. 276 u. 483. Er stellte die Versuche mit Dr. [illegible]x zu Glasgow an.

5 Biblioth. univ. 1836. p. 884.

wassers, die man in Spanien durch die *Alcarazzas* bewirkt. Diese Krüge sind nach SALLIOR's[1] Beschreibung 1 Fuſs hoch, 0,5 Fuſs weit, unten bauchig und oben enger[2]. Sie sollen auch in der Berberei und Aegypten gewöhnlich seyn und kamen vermuthlich durch die Mauren nach Spanien. FABBRONI[3] hat sie untersucht und bemerkt, daſs sie gerade so porös seyn müssen, um genau so viel Wasser zur Oberfläche durchzulassen, als stets verdunstet, wodurch dann eine bedeutende Abkühlung bewirkt wird. Als er bei 21°,25 C. äuſserer Temperatur drei Alcarazzas, die beinahe 50 Pfund Wasser enthielten, und neben diesen drei ungefähr gleich groſse kupferne Gefäſse der freien Luft aussetzte, nahm das Wasser in den letzteren sehr bald die Temperatur der Umgebung an und erhielt sich auch dabei, das in den ersteren aber sank auf 16°,25 bleibend herab. Die Erkaltung wird noch stärker, wenn man sie einem beträchtlichen Luftzuge aussetzt. Ebenso pflegen die Seefahrer ihr Getränk dadurch abzukühlen, daſs sie die Flaschen mit nassem Segeltuch umgeben und im Tauwerk aufhängen. Die Jäger pflegen, um die Windrichtung zu ermitteln, einen Finger im Munde naſs zu machen, dann vertical in die Höhe zu halten und aus dem durch den Luftzug merklich erkalteten Streifen diese Richtung zu entnehmen. Hauptsächlich zeigt sich die Verdunstungskälte wirksam bei der bekannten *Eisbildung zu Benares* in Ostindien, worüber WILLIAMS[4] Folgendes berichtet. Ein ausgedehntes, etwa 4 Acres haltendes, Feld ist 4 Zoll hoch mit Stroh oder Schilfrohr belegt, auf welchem zahllose, an 100000 betragende flache, unglasirte, irdene Gefäſse ausgestellt sind, so porös, daſs sie durch hineingegossenes Wasser sogleich auswärts feucht werden. Mehrere hundert Menschen füllen sie Abends mit Quellwasser und nehmen am andern Morgen um 5 Uhr die gebildete Eiskruste heraus, welche sich leicht ablösen läſst, weil die innere Seite der Gefäſse mit Butter bestrichen ist. Das Stroh muſs trocken seyn, sonst ist die Eisbildung, die unter günstigen Umständen über einen Zoll

---

1 Décade philos. An VI. Frim. 30. Ann. de Chim. T. XXV. p. 167.

2 Die ich selbst gesehen habe, sind von schmutzig weiſs-gelblichem Thon und gleichen einer sehr groſsen Calebasse.

3 Journ. de Phys. T. VI. p. 228. G. III. 232.

4 Phil. Trans. T. LXV. p. 252. LXXXIII. p. 56 u. 129. Gren's Journ. Th. VIII. S. 409.

Dicke erreicht, minder stark; sie wird vorzüglich durch einen kühlen Wind befördert, welcher sich gegen Morgen erhebt, denn die Temperatur des Strohes kommt nie unter 2° C., ist aber wegen der über ihm statt findenden Verdunstung stets um etwa 2° C. niedriger, als die der höheren Luftschichten. Williams füllte zwei alte Gefäfse, deren Poren verstopft waren, und zwei neue mit Wasser aus einem tiefen Brunnen, dessen Temperatur 23°,34 zeigte, stellte sie gegen Abend an einen schattigen Ort, dessen Temperatur 35° war, und bemerkte, dafs die Wärme des Wassers in den alten Gefäfsen nach 4 Stunden bis 31°,1 gestiegen war, statt dafs sie in den neuen sich fortdauernd bei 20° erhielt[1].

464) Schnelle und starke *Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten* bindet Wärme, so wie ihre Zusammendrückung sie frei macht, ohne dafs jedoch die Gröfse der hierdurch gebundenen Wärme bis jetzt genau bestimmt wurde (§. 111); wenn aber das zweite Mittel der Kälteerzeugung, nämlich das der Dampfbildung, hiermit verbunden ist, so wird es hierdurch möglich, die Temperatur ausnehmend tief herabzubringen, ein Mittel, worauf Leslie zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker richtete, die dasselbe nachher zu höchst interessanten Versuchen benutzten. Blofse Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten kann keine bedeutende Wärmeabsorption bewirken, weil die Wärme dem allgemeinen Gesetze ihres Verhaltens gemäfs der Anziehung zur Materie folgt, die hierbei fehlt, indem der Raum als solcher nicht eigentlich Wärme zu enthalten scheint (§. 301). Robinson[2] will aber gefunden haben, dafs Luft, deren Volumen er um ein Drittel vergröfserte, eine Erkältung von 10°,5 bis 11°,1 C. hervorbrachte; auch nahm schon Cullen[3] wahr, dafs schnelles Exantliren der Luft Kälte erzeuge, was de Saussure[4] durch Versuche bestätigte; in der Regel aber darf man voraussetzen, dafs bei bedeutender, durch Expansion der Luft erzeugter, Kälte Dampfbildung als vorzügliche oder mitwirkende

1 Vergl. die Art. *Ventilator* und *Verdunstung*. Dafs man die Erscheinung später aus der *Strahlung* der Wärme gegen den leeren Himmelsraum ableitete, möge hier beiläufig bemerkt werden.

2 Mechanical Philosophy. T. II. p. 166.

3 Essays of the Society of Edinburgh. T. II. p. 153.

4 Journ. de Physique. T. IV. p. 186. Vergl. Lambert's Pyrometrie S. 267.

Ursache vorhanden ist. Dahin gehören ohne Zweifel die Versuche EWART's[1], welcher Kälte durch die Expansion verdichteter Gase und Dämpfe entstehen sah, diese Erscheinung aber davon ableitete, daſs die zusammengedrückten Molecüle der Gase, wenn der Druck nachläſst, nach dem Gesetze der Trägheit wie zwei durch eine Feder ausgespannte Kugeln sich weiter entfernen. Niederschlag der Dämpfe und Wiedererzeugung derselben ist vermuthlich auch bei dem Apparate mitwirkend, wodurch HARE[2] die durch Compression der Luft entbundene und durch ihre Expansion wieder absorbirte Wärme anschaulich macht. An einer Glasröhre bb befindet sich eine Kugel a, in Fig. 66. deren Mitte die kleine Kugel eines empfindlichen Thermometers enthalten ist; das andere Ende der Röhre hat eine etwas groſse Blase von Federharz A, welche mit Luft erfüllt und dadurch ausgespannt festgebunden ist. Drückt man die Blase heftig zusammen, so wird die Luft in der Kugel a comprimirt und das Thermometer $\alpha\beta$ zeigt die Entbindung von Wärme an; erhält man sie aber eine Zeit lang in diesem Zustande, bis die Temperatur sich wieder ins Gleichgewicht gesetzt hat, und läſst dann mit dem Drucke nach, so dehnt sich die Blase A und die im ganzen Apparate enthaltene Luft wieder aus und das Thermometer zeigt entstehende Kälte. Der Apparat ist zwar einfach und bequem, aber das Phänomen, was er zeigt, ist nicht einfach, da auf jeden Fall der mechanische Druck auf die Thermometerkugel mitwirkt. In vielen Fällen hat aber die neben der Expansion statt findende Dampfbildung einen bedeutenden Einfluſs auf die entstehende Kälte. Die oben (§. 114) erwähnte Eisbildung durch Expansion der comprimirten Luft gelingt am leichtesten, wenn die Luft sehr feucht ist, auch hört man unter dieser Bedingung das Anstoſsen kleiner, durch den geöffneten Hahn ausgetriebener Eisstückchen. Ebenso erzählt PICTET[3], daſs, wenn feuchte Luft aus einer Compressionspumpe entweicht und etwas Wasser mit sich fortreiſst, dieses am Hahn gefriert. Dahin gehört dann auch die bekannte Eisbildung durch das Ausströmen der sehr feuchten Luft

1 Philos. Magaz. and Ann. of Phil. T. V. p. 247. Biblioth. univ. T. XLI. p. 117.

2 Silliman's Amer. Journ. T. XIII. p. 7.

3 Scherer's Journ. Th. III. S. 481.

aus der *Höll'schen Maschine* zu Schemnitz, wovon bereits die Rede war[1].

465) Die Dampfbildung wird befördert, wenn der entstehende Dampf kein auf der Flüssigkeit ruhendes Medium heben oder in dieses beim Aufsteigen dringen mufs, sondern sich im leeren Raume frei ausbreiten kann. Man kannte daher längst das stärkere Verdampfen im luftleeren oder luftverdünnten Raume, und hierauf gründete J. T. Mayer[2] das von ihm angegebene, allerdings sichere Verfahren, selbst im heifsen Sommer Wasser zum Gefrieren zu bringen. Er füllte zu diesem Ende ein längliches Gläschen nicht ganz voll mit Aether, band eine Thierblase darüber, die mit einer Nadel an einigen Stellen durchstochen war, setzte es in ein anderes, etwas weiteres Gläschen, füllte den engen Zwischenraum zwischen beiden mit Wasser, und setzte beide in ein drittes geeignetes Glas, in welchem sich gleichfalls Aether befand. Wurde dann diese Vorrichtung unter eine Campane gestellt und 8 bis 10 Minuten lang exantlirt, so gefror das Wasser durch die Kälte des in beiden Gefäfsen verdunstenden Aethers. Aehnliche, zu gleichem Zwecke dienende Apparate haben Grotthuss[3] und Vogel[4] in Vorschlag gebracht. Alle früheren Verfahrungsarten wurden aber weit übertroffen durch die von John Leslie[5] angewandte, welche darin besteht, nicht blofs durch den luftverdünnten Raum die Verdampfung zu erleichtern, sondern zugleich den erzeugten Dampf durch eine ihn absorbirende Substanz schnell wegzuschaffen und somit die stets fortdauernde neue Bildung desselben zu befördern. Auf diese Weise wurde es möglich, das Wasser durch seine eigene Verdampfung gefrieren zu machen; denn obgleich sein Siedepunct höher liegt, als der mancher anderen, starke Kälte erzeugenden Flüssigkeiten, so ist dagegen auch die latente Wärme des Wasserdampfes unter allen die gröfste[6].

---

1 S. Art. *Pumpe.* Bd. VII. S. 976. Vergl. G. XVIII. 412.

2 Gren's neues Journ. Th. II. S. 358.

3 Allgemeine nord. Annalen. Th. II. S. 6.

4 Bulletin de Pharmacie. 1811. Août.

5 Biblioth. Britann. T. XLVI. p. 314. Schweigger's Journ. Th. II. S. 209. G. XLIII. 373. Annales de Chim. 1811. Mai. Philos. Magaz. 1818. Jan. Biblioth. univ. T. VIII. p. 196.

6 Gay-Lussac wiederholte das von Leslie vorgeschlagene Verfahren und brachte dadurch das Quecksilber zum Gefrieren, wobei

[redacted]

Leslie's Verfahren besteht darin, das Wasser, welches gefrieren soll, in einem flachen Gefäfse über einem weiteren, mit Schwefelsäure gefüllten, unter der Campane einer Luftpumpe aufzustellen und zu exantliren. Er wandte gewöhnlich eine hundertfache Verdünnung an, doch genügt auch eine funfzigfache, und beim Mangel einer guten Luftpumpe, oder wenn man die Sache in kurzer Zeit zeigen will, kann man einen nassen Schwamm über der Schwefelsäure aufhängen, welcher sehr schnell gänzlich erstarret. Ist das Eis einmal gebildet, so kann das Vacuum weniger stark seyn, je luftleerer aber der Raum ist, desto stärker dauert die Verdunstung auch des Eises fort, welches viele Grade unter dem Eispuncte, fast bis zum Gefrierpuncte des Quecksilbers erkaltet und dadurch allmälig verschwindet, bis es nach einigen Tagen, je nach der Gröfse der Massen, gänzlich verzehrt ist. Will man durch Verdunstung des Eises das Quecksilber zum Gefrieren bringen, wobei aber wohl die Campane von aufsen abgekühlt werden mufs oder mehrere, zunehmend gröfsere Campanen über einander auf den Luftpumpenteller gestellt werden, so umgiebt man ein etwas Quecksilber enthaltendes Röhrchen zuerst mit einer Eisrinde, indem man es unter der Campane im Vacuum wieder-

---

er jedoch die Campane von aufsen durch eine Mischung von Schnee und Kochsalz abkühlte. Um den Grad der durch Verdunstung erzeugten Kälte zu bestimmen, schlägt er folgende Formel vor. Es sey x die Gröfse der Erkältung in Centesimalgraden; l die latente Wärme des Dampfes; $\varphi(x)$ die Elasticität des Dampfes bei der Temperatur x; δ die Dichtigkeit des Dampfes gegen Luft als Einheit; t die Temperatur der Luft in Centesimalgraden; p ihr Druck in Metern; c ihre Wärmecapacität gegen die der Flüssigkeit als Einheit genommen, so ist:

$$\varphi(x)\,\delta\,l = \left\{p - \varphi(x)\right\}(t - x)\,c.$$

Diese Formel kommt vorzüglich in Anwendung, wenn eine Gasart über eine nasse Thermometerkugel hinströmt und man deren specifische Wärmecapacität zu bestimmen wünscht, s. §. 382. Auf Wasser angewandt nimmt Gay-Lussac die latente Wärme des Wasserdampfes $l = 550°$ C. (wobei aber vom Siedepuncte an zu rechnen wäre, vergl. §. 406 ff.), die Dichtigkeit desselben $\delta = \frac{10}{16}$; die Wärmecapacität der Luft (nach Delaroche und Bérard) $c = 0{,}2669$, und nach Laplace:

$$\varphi x = 0{,}76^{m} \left(10\right)^{x \cdot 0{,}0154547 - x^2 \cdot 0{,}0000625826},$$

s. Ann. de Chim. T. XXI. p. 82.

holt in ein Gefäfs mit Wasser über Schwefelsäure taucht und das anhängende Wasser gefrieren läfst; dann nimmt man das Wassergefäfs weg, senkt das Röhrchen bis 0,5 Zoll Abstand über die Oberfläche der Schwefelsäure herab und exantlirt bis auf 0,1 Zoll der Barometerprobe. Leslie nahm statt der Schwefelsäure auch salzsauren Kalk, fand diesen aber weniger wirksam, ebenso getrockneten und pulverisirten Trapp-Porphyr, auch getrocknetes feines Hafermehl, die zwar einige, aber weit geringere Wirkungen äufserten[1]. Er beabsichtigte aufserdem, dieses Verfahren für technische und ökonomische Zwecke zu benutzen, denn er nahm ein Patent darauf, und wirklich hat man es später häufig nicht blofs zum Austrocknen und zum Eindicken von Säften angewandt, sondern auch Pumpen im Grofsen ausgeführt, die durch Dampfmaschinen getrieben werden und in Ostindien dazu dienen, Eis zur Abkühlung der Getränke zu bereiten, was keinen grofsen Aufwand erfordert, da sich die angewandte Schwefelsäure zum neuen Gebrauche in Platinschalen wieder abdampfen läfst. Dafs Physiker und Chemiker häufig dieses Mittel zur schnellen Bereitung kleiner Quantitäten Eis benutzen, ist eine jetzt genügend bekannte Sache.

466) Leslie's Entdeckung wurde mit grofsem Beifall aufgenommen, und wohl alle Physiker machten sich das Vergnügen, die einfache Erscheinung selbst wahrzunehmen, mehrere verfolgten sie aber in ihren verschiedenen Modificationen oder strebten danach, sie zu technischen Zwecken mit Vortheil anzuwenden, wie Clement und Desormes[2], die dadurch Montgolfier's Verdampfungsapparat[3] ersetzen wollten. Ausführlich wurde aber das Problem behandelt durch Configliachi[4], welcher nach erhaltener kurzer Notiz sogleich den Versuch wiederholte und nach dem Gelingen desselben die Sache weiter verfolgte. Zuerst umgab er eine Thermometerkugel mit einem nassen Schwamme, erzeugte ein starkes Vacuum, sicherte die Campane, worin das Thermometer an einem Seidenfaden auf-

1 Philos. Magaz. 1817. Apr. u. Juli. Bibl. univ. T. VI. p. 85.

2 Ann. de Chim. 1811. Mai. G. XLIII. 378.

3 Vergl. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1785.

4 Memoria sul freddo prodotto cet. Pavia 1811. Journ. de Phys. T. LXXVI. p. 258. Brugnatelli Giorn. T. IV. p. 208 u. 287. G. XLIII. 341. Schweigger's Journ. II. 335. IX. 54.

gehangen war, durch eine zweite darüber gestürzte gegen den Einfluſs der von auſsen zuströmenden Wärme, und erreichte dadurch, daſs das Wasser im Schwamme ohne vorhandene hygroskopische Substanz in Eis verwandelt wurde. Freies Wasser in kleinen Gefäſsen konnte er selbst, wenn der Recipient auswärts durch verdampfenden Weingeist erkältet wurde, nicht zum gänzlichen Gefrieren bringen, wohl aber zum Anschieſsen einiger Eisnadeln. Unter den nachher angewandten hygroskopischen Substanzen fand er die concentrirte Schwefelsäure am wirksamsten und brachte, indem er ein mit derselben gefülltes Gefäſs unter den nassen Schwamm oder unter das Schälchen mit Wasser stellte, die Eisbildung vollständig ohne Schwierigkeit zu Stande. Als bei einem Versuche mit dem Schwamme das Vacuum bis auf 1,1 Millim. gebracht war, sank das Thermometer nach vollendeter Eisbildung bis — 37° C. Nach vielen vergeblichen Versuchen, indem er die Thermometerkugel mit einem in Wasser getränkten Schwamm umgab, mehrere Gefäſse mit Schwefelsäure in ungleichen Höhen darunter stellte und den Recipienten äuſserlich durch Aether abkühlte, gelang es ihm, bei 20° C. äuſserer Temperatur und einem bis 0,56 Millim. gebrachten Vacuum das Quecksilber gefrieren zu machen, wie sich dadurch zeigte, daſs es lange auf — 40° C. stehen blieb und dann plötzlich um 12° herabsank; es schmolz jedoch vor dem Herausnehmen wieder, und er konnte es nicht im gefrorenen Zustande zur Untersuchung erhalten. Configliachi stellte dann eine Reihe von Versuchen mit sonstigen, den Wasserdampf absorbirenden Substanzen an, deren Resultate folgende Tabelle übersichtlich zeigt, wobei zu bemerken ist, daſs die Verdampfung derselben der Erzeugung eines genauen Vacuums entgegenstand und daher die Erlangung tiefer Kältegrade hinderte. Die Thermometerkugel war allezeit mit einem nassen Schwamm umgeben; die äuſsere Temperatur betrug 20° C.

Substanzen	Kälte	Barometer Millim.	Wasser gefror
feste Phosphorsäure . . .	1°,5 C.	6,765	nicht
trocknes kaust. Kali . .	−3,0 —	2,818	gänzlich
essigsaures Kali, säuerlich	−2,0 —	3,945	zum Theil
neutral .	−3,0 —	3,382	zum Theil
getrocknet	−2,75 —	3,199	gänzlich
basisch . .	−3,0 —	3,066	gänzlich
chlors. Kali, krystallis. . .	2,0 —	7,328	nicht
nicht krystallis. . .	−2,5 —	3,199	gänzlich
salpeters. Ammoniak, krystall.	5,0 —	7,992	nicht
schwefels. Natron, trocken	8,0 —	9,020	nicht
Schwefelsäure	−18,5 —	0,751	gänzlich

Die Folgerungen hieraus ergeben sich von selbst, doch verdienen folgende Bemerkungen beachtet zu werden. Bei grofser äufserer Wärme ist es vortheilhaft, den Recipienten zu benetzen und mit einem Blasebalge dagegen zu blasen. Weil sich die Schwefelsäure erhitzt, so stellt man das Gefäfs derselben am besten auf den Teller der Luftpumpe und bringt das Wasser in einige Höhe darüber. Eine vorausgehende Erkältung des Wassers bringt geringen Vortheil, denn es gefror auch, wenn es vorher 85° C. zeigte. Die Wirkung erfolgt in einem kleineren Recipienten schneller, als in einem grofsen. Die Menge des verdunstenden Wassers, wodurch der Rest gefriert, beträgt ungefähr ein Achtel, was mit der Theorie nahe genug übereinstimmt; denn setzt man von 0° C. ausgehend die latente Wärme des Wassers = 75 und die des Dampfes = 650, so ist deren Verhältnifs nahe genau = 1:9, und $\frac{1}{8}$ würde also zur Erreichung des Gefrierens noch nicht genügen, zumal wenn das Wasser über 0° C. erwärmt ist.

467) Configliachi untersuchte darauf die durch das Verdunsten noch flüchtigerer Flüssigkeiten entstehende Kälte. Zuerst umgab er die Kugel eines Quecksilberthermometers mit einem in Schwefeläther von 0,74 spec. Gewicht getauchten Schwamme, brachte ihn ohne absorbirendes Mittel unter eine Campane, und als er bemerkte, dafs dasselbe unter den Gefrierpunct des Quecksilbers herabsank, nahm er eine Kugel an einer Thermometerröhre, welcher Apparat so eingerichtet war, dafs das Quecksilber beim Gestehen ganz in die Kugel herabsank, und es gelang ihm damit, bei einer äufsern Temperatur

von 25° C. das Quecksilber mehrmals zum Gefrieren zu bringen, so dafs es gegen 4 Minuten in diesem Zustande blieb, indem es beim Zerschlagen der Kugel abgeplattet war. Den Schmelzpunct desselben setzt er bei — 36° C., doch mufs die Kälte bis — 39°,25 herabgehn, wenn das Gefrieren eintreten soll. Da er glaubte, dafs concentrirte Schwefelsäure auch Aetherdampf absorbiren werde, so stellte er ein damit gefülltes Gefäfs unter das auf die angegebene Weise vorgerichtete Thermometer, stürzte über die Campane noch eine zweite, kühlte diese durch Weingeist und Blasen mit einem Blasebalge ab, und sah das Thermometer binnen 10 Minuten bei 21°,25 äufserer Temperatur im Vacuum von 2,25 Millim. Quecksilber bis — 51°,25 C. herabgehn, wobei der Aether gefroren war. Als er darauf Salzäther, Salpeteräther, Alkohol und Ammoniak auf gleiche Weise anwandte, ging die Barometerprobe tiefer herab, das Quecksilber aber konnte er nicht gefrieren machen. Auch bei diesen Flüssigkeiten wurde die Wirkung durch Schwefelsäure vermehrt, bei der Anwendung des Ammoniaks aber wurde diese zum Nachtheile des Versuches stark erhitzt; befand sich der Aether in einer Schale, so ging seine Temperatur nicht unter — 28° C. herab. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der mit und ohne Schwefelsäure erzeugten Kältegrade. Das specifische Gewicht der angewandten Schwefelsäure war 1,85, die Wärme der Flüssigkeiten beim Anfange der Versuche 15° C.; die Barometerhöhe ist in Millimetern angegeben.

Flüssigkeiten	Spec. Gew.	Ohne Schwefelsäure Barometer	Temperatur	Mit Schwefelsäure Barometer	Temperatur
Schwefeläther . .	0,70	4,5	—42°,00	3,20	—48°,00
Salzäther	0,80	4,25	— 25,75	3,00	— 30,00
Salpeteräther . . .	0,86	3,58	— 20,25	2,86	— 31,25
Alkohol	0,81	3,96	— 22,50	2,22	— 37,50
Ammoniak	0,91	2,98	— 19,00	2,75	— 24,00

468) Nach Bekanntwerdung dieser interessanten Versuche wurden ähnliche von verschiedenen Gelehrten angestellt und zum Theil bekannt gemacht, von denen hier nur die wichtigsten erwähnt werden mögen. Sehr ausführlich erzählt Bellani[1] die durch ihn geschehene Wiederholung derselben, allein

1 Brugnatelli Giorn. T. IX. p. 102. 188. 417.

die erhaltenen Resultate setzen dem Bekannten nichts Neues hinzu. Wichtig sind dagegen die Versuche, welche GAY-LUSSAC[1] anstellte, indem er getrocknete Luft gegen eine mit Wasser benetzte Thermometerkugel blasen liefs und das dadurch erzeugte Maximum der Erkaltung unter die Temperatur der Umgebung mit der theoretischen Bestimmung derselben verglich; es dürfte indefs sehr schwer seyn, für die letztere die erforderlichen Gröfsen mit nöthiger Schärfe zu erhalten, weswegen ich blofs die durch Erfahrung gefundenen Werthe, die von den berechneten zunehmend abweichen, hier mittheile, wobei t die Temperatur der Umgebung und t' die durch die Verdunstung erzeugte Kälte unter dieser Temperatur in Centesimalgraden bezeichnet.

t	t'	t	t'	t	t'
0°	5°,82	9	8°,61	18°	11°,96
1	6,09	10	8,97	19	12,34
2	6,37	11	9,37	20	12,73
3	6,66	12	9,70	21	13,12
4	6,96	13	10,07	22	13,51
5	7,27	14	10,44	23	13,90
6	7,59	15	10,82	24	14,30
7	7,92	16	11,20	25	14,70
8	8,26	17	11,58		

Es ergiebt sich aus dieser Tabelle, dafs die Grade der erzeugten Kälte um so mehr wachsen, je gröfser die Wärme der Umgebung ist. Hieraus folgt von selbst, dafs sie in einem ähnlichen Verhältnisse abnehmen, wenn die letztere unter den Gefrierpunct herabgeht, was auch durch die Formel ausgedrückt wird, wonach bei — 25° äufserer Temperatur nicht mehr als 1°,45 Kälte erzeugt werden würde, aus dem einfachen Grunde, weil die Dichtigkeit des Dampfes, und sonach die Menge des verdampfenden Wassers, mit abnehmender Temperatur gleichfalls abnimmt. In einem genügenden theoretischen Ausdrucke dieser Gröfsen müfste zugleich auch die mit der Temperatur abnehmende Wärmecapacität des Wasserdampfes aufgenommen werden, worüber bis jetzt die Bestimmungen fehlen. HARE[2]

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 82.
2 London and Edinburgh Philos. Magaz. N. LXVII. p. 325.

fand bei der Wiederholung der bekannten Versuche, dafs der Aether, den man anwendet, um das Wasser gefrieren zu machen, die Ventile und inneren Theile der Luftpumpe angreift, und dafs man diesem Uebel durch ein untergestelltes Gefäfs mit Schwefelsäure begegnen kann. Das Gefrieren des Wassers über Schwefelsäure im Vacuum fand er schwierig [1], vermuthlich wegen mangelhafter Wirksamkeit der gebrauchten Pumpe, doch gelang es ihm später, wenn er den Versuch länger fortsetzte und durch eine eigene Vorrichtung stets aufs Neue Wasser hinzuführte, eine 2 Zoll dicke Eismasse zu erzeugen. Dagegen fand Dove [2] keine Schwierigkeit, das Quecksilber selbst bei 23°,75 C. äufserer Wärme vermittelst Schwefeläthers über Schwefelsäure gefrieren zu machen; interessant aber ist die durch ihn geschehene Umkehrung des Versuches, indem er die Thermometerkugel mit Schwefelsäure benetzte, Aether darunter stellte und beim Exantliren Wärmevermehrung wahrnahm. Marcet [3] erweiterte das Gebiet der bis dahin gemachten Erfahrungen, indem er eine neue und bei weitem die wirksamste Substanz, den Schwefelkohlenstoff, anwandte. Wird die Kugel eines Thermometers mit einem Stücke Flanell oder besser Leinwand umwickelt, dann in Schwefelkohlenstoff getaucht und frei gehalten, so sinkt die Temperatur derselben bald von 15°,6 bis — 17°,8 C., statt dafs auf gleiche Weise Aether es nur bis — 6°,7 und Alkohol nur bis 10° herabbringt. Um die Verdunstung zu verstärken, kittete er die Röhre des Weingeistthermometers in einen messingnen Deckel, brachte auf diese Weise die mit Leinwand umwickelte und in Schwefelkohlenstoff getauchte Kugel in eine kleine Campane und erreichte durch schnelles Auspumpen der Luft, dafs die Wärme desselben von 21°,1 bis — 56°,6, ja selbst bis — 62°,2 herabsank. Schon früher hatte derselbe [4] das Quecksilber durch Aether, in welchen die mit Leinen umwickelte Kugel getaucht war, im Vacuum sowohl ohne, als auch mit Anwendung von Schwefelsäure zum Gefrieren gebracht und dabei dessen starke Zusammenziehung beobachtet; es war ihm daher ein Leichtes, dieses auch durch Schwefelkohlenstoff zu bewirken. Dieser Ver-

---

1 London and Edinb. Philos. Mag. N. XXIX. p. 377.

2 Poggendorff's Ann. XIX. 356.

3 Philos. Trans. 1813. G. XLVIII. 167. LII. 281.

4 Nicholson's Journ. 1813. Febr.

auch geräth leicht, auch wenn das Vacuum nur 0,25 Zoll beträgt; den höchsten angegebenen Kältegrad erreicht man aber nur, wenn das Barometer die Hälfte dieser Grösse zeigt.

Wie überraschend aber diese Wirkungen sind, so werden sie dennoch von denen übertroffen, die man durch Verdampfung der von BUSSY[1] tropfbar-flüssig dargestellten schwefligen Säure erhalten kann, deren Siedepunct bei — 10° C. liegt. Bringt man 20 Gran Quecksilber in einem Uhrglase mit ebenso viel dieser Säure übergossen unter die Campane der Luftpumpe, so gefriert das Metall augenblicklich. Inzwischen ist dieser Versuch sehr unbequem, denn er erfordert eine äufsere Temperatur unter dem Gefrierpuncte dieser Säure, also unter —10°, und aufserdem greift zwar auch der Schwefelkohlenstoff, aber noch stärker die schweflige Säure die Ventile der Luftpumpe an. Durch die mächtig erkältende Wirkung dieser Flüssigkeit kann man das Quecksilber auch ohne Luftpumpe, wenn auch minder schnell, zum Gefrieren bringen, wenn man sie auf eine mit Baumwolle umwickelte Kugel tröpfelt und der Verdampfung in kalter, trockner Luft aussetzt. Das Quecksilber sinkt dann regelmäfsig bis —36° C., zieht sich hierauf schnell in die Kugel und ist erstarrt. Unter der Luftpumpe erfolgt das Gefrieren so schnell, dafs die Oberfläche des Metalls in Folge der Krystallisation und plötzlichen Zusammenziehung uneben wird. Tröpfelt man die Säure vorsichtig auf Wasser, so erzeugt sie augenblicklich eine Hülle von Eis[2].

---

1 Schweigger's Journ. Th. XLI. S. 453 aus Journ. de Pharmacie 1824. Avr. p. 202. Die Säure wird bei äufserer Kälte bereitet, indem man gleiche Theile Quecksilber und Schwefelsäure in einen Kolben bringt, den Hals desselben durch Schnee kalt erhält, die sich entwickelnde Säure durch eine Röhre mit salzsaurem Kalk von der Feuchtigkeit befreit und in einem kleinen Kolben niederschlägt, welcher in einer Mischung von 2 Th. Schnee und 1 Th. Kochsalz liegt.

2 Bekanntlich haben verschiedene Gelehrte die Entstehung des *Hagels* aus der Verdunstungskälte in den höheren Regionen zu erklären gesucht, namentlich auch IDELER in seiner an Thatsachen überreichen Schrift: Untersuchungen über den Hagel und die elektrischen Erscheinungen in unserer Atmosphäre. Leipz. 1833. S. 60 ff., und allerdings ist es verführerisch, wenn man die enormen Kältegrade liest, die hierdurch erzeugt werden; allein die hierzu erforderlichen Bedingungen sind in jenen Regionen nicht vorhanden, und unter solchen, wie sie daselbst gegeben sind, würde es unmöglich seyn, nur

469) Auf die starke Verdampfung des Wassers im luftleeren Raume hat WOLLASTON[1] die Construction seines *Kryophorus* (von κρύος, Eis, Kälte und φέρω, ich trage, also nicht *Chryophorus*), eines höchst sinnreich ausgesonnenen Apparates, gegründet, in welchem das Wasser durch seine eigene Verdunstung gefrieren gemacht oder die Kälte in die Entfernung getragen wird. Der Kryophorus besteht aus einer etwa 2 bis 2,5 Fufs langen Glasröhre von der Weite einer gewöhnlichen Barometerröhre und zwei etwa 1 bis 2 Zoll im Durchmesser haltenden Kugeln an den Enden derselben, welche nach der nämlichen Seite hin rechtwinklig gebogen sind. Die eine dieser Kugeln ist in eine Spitze ausgezogen; das Instrument wird durch diese mit Wasser so gefüllt, dafs die eine Kugel etwa halb voll ist. Man läfst dann dieses Wasser anhaltend, wohl eine Stunde lang und darüber, heftig sieden, um alle Luft möglichst vollständig auszutreiben, wobei der Dampf sichtbar aus der Spitze entweicht, bläst dann mitten im Sieden, wenn dieses angeht, die äufserste Spitze an der Lampe zu, oder verschliefst sie mit Siegellack so, dafs das Instrument möglichst luftleer bleibt, wobei man es sogleich vom Feuer entfernen mufs, und schmelzt nach dem Erkalten die Spitze ab. Ist das Instrument gehörig luftleer, so vertheilt man das Wasser ungefähr gleichmäfsig in beiden Kugeln, taucht die eine derselben in eine kaltmachende Mischung aus Schnee und Kochsalz und wird dann in wenigen Minuten das Wasser der andern Kugel in Eis verwandelt sehn. Es fällt von selbst in die Augen, dafs für diesen interessanten Versuch, worin das Wasser selbst in 3 Fufs Entfernung und in einer warmen äufseren Umgebung durch seine eigene Verdampfung gefriert, nicht gerade eine kaltmachende Mischung erfordert wird, sondern es kommt nur darauf an, das Wasser der andern Kugel durch Erkältung in Eis zu verwandeln und dessen Temperatur einige Grade unter seinen Gefrierpunct herabzubringen, so dafs es den im abgeschlossenen Raume befindlichen Wasserdampf begierig auf- Fig. 67.

überhaupt ein Gefrieren zu Wege zu bringen, geschweige denn solche Wirkungen, wie sie sich in der Hagelbildung zeigen, worüber im Art. *Hagel* Bd. V. S. 62 das Nöthige gesagt worden ist.

1 Philos. Trans. 1813. p. 71. Ann. of Philos. T. II. p. 180. G. XLVIII. 174. LII. 274 u. 279.

nimmt, welcher dann durch Dampf aus dem Wasser der entfernten Kugel ersetzt wird, so dafs auch dieses in Folge des hierdurch latent werdenden Wärmestoffes gefriert. Das Erkalten der ersten Kugel läfst sich auch durch Verdunstung bewirken, wie namentlich durch MARCET vermittelst der erwähnten Methoden geschehn ist. Die hierbei entstehende Kälte ist dem Unterschiede zwischen der durch Verdampfung latent und der durch die Eisbildung frei werdenden Wärme proportional, WOLLASTON's hierauf gegründete Gröfsenbestimmungen sind aber nur annähernd angegeben und haben daher auf eigentliche Beachtung keine gegründeten Ansprüche. Eine andere Construction dieses Apparates, die ich aus einem schönen Exemplare von WATKINS in London kenne, bietet noch gröfsere Bequemlichkeit dar. Eine auf 13 Zoll lang gerade Glasröhre, einer etwas weiten Barometerröhre gleichend, ist an der einen Seite mit einem halbkreisförmig gebogenen Theile versehn, woran sich eine, hiernach vertical herabhängende Kugel von 3 Zoll Durchmesser befindet, deren etwa 0,1 ihres Inhalts ausfüllendes Wasser eine verhältnifsmäfsig grofse Oberfläche darbietet. Am andern Ende der Röhre ist ein ungefähr 3,5 Zoll langer, 1,5 Zoll weiter Cylinder angeblasen, worin sich der andere, ungefähr 0,3 bis 0,25 des Inhalts ausfüllende, Theil Wasser befindet. Diesen Cylinder senkt man in die kaltmachende Mischung, kann das Instrument ruhig in seiner verticalen Richtung stehn lassen und sieht dann das Eis in der grofsen Kugel gestehn.

470) Alle frühere Kältegrade werden bei weitem übertroffen durch die Verdampfung der *liquid gemachten Kohlensäure.* THILORIER[1] hatte sich schon mehrere Jahre damit beschäftigt, die Kohlensäure mittelst einer eigens hierzu construirten, bis 10000 Atmosphären wirkenden Pumpe tropfbar-flüssig zu machen, und als ihm dieses gelungen war, mischte er die entstandene Flüssigkeit mit Alkohol oder Schwefeläther und fand, dafs 50 Gramm Quecksilber in einen Strahl dieser Mischung gehalten in wenig Secunden gefroren. Noch überraschender aber

1 Ann. de l'Industrie et française et étrangère. T. IV. p. 132. Bulletin de la Soc. d'Encouragement 1830. p. 345. L'Institut 1834. N. 6. 1835. N. 126 u. 127. Poggendorff's Ann. XXXVI. 141. Ann. de Chim. et Phys. T. LX. p. 427.

war das Phänomen, daſs ein Strahl der reinen flüssigen Kohlensäure in ein kleines Gläschen geleitet eine bis — 100° C. nach Schätzung steigende Kälte erzeugte, wodurch die Flüssigkeit in einen schneeähnlichen festen Körper verwandelt wurde. Ein in den Strahl gehaltenes Thermometer ging bis — 87° C. herab, und es würde wohl bis — 93° herabgegangen seyn, wenn es ganz der Kältewirkung ausgesetzt worden wäre. Thilorier hat diese Entdeckung später weiter verfolgt, die Apparate verbessert und durch die feste Kohlensäure den Physikern ein Mittel gegeben, die Gefrierpuncte derjenigen Körper zu untersuchen, die allen früher bekannten Mitteln trotzten, wovon unten bei der Untersuchung des Gefrierens weiter die Rede seyn wird. Der Apparat, dessen man sich in Paris zuletzt bediente[1] und durch dessen Zerspringen am 30sten Dec. 1840 der Gehülfe Hervy den Tod fand, indem ihm beide Schenkel zerschlagen wurden, besteht aus einem guſseisernen Cylinder von 0,487 Met. Höhe, 0,271 Met. Weite und 0,054 Met. Dicke. In seiner Mitte ist er zwischen zwei Säulen BB aufgehangen, so daſs er sich hin und her wiegen läſst, um den Inhalt besser durch einander zu schütteln. Der innere Raum bb wird mit doppeltkohlensaurem Natron angefüllt und dieses mit einem hölzernen Cylinder festgestampft, dann bringt man den hohlen, am einen Ende verschlossenen Cylinder A so hinein, daſs er in dem Salze feststeckt, füllt ihn mit Schwefelsäure und verschlieſst den Apparat durch einen zugeschraubten Deckel, in welchem sich ein kupferner Hahn befindet, um nach Gefallen von der Kohlensäure herauszulassen. Die Reaction beginnt sogleich, durch Schaukeln verbreitet sich die Schwefelsäure überall, die entbundene Kohlensäure wird durch den heftigen Druck tropfbar-flüssig und selbst schneeartig fest. Man läſst sie durch das aufgeschraubte Rohr D in den Cylinder E übergehn, und wiederholt die Bereitung so oft, bis letzterer mit einer genügenden Menge tropfbar-flüssiger Kohlensäure angefüllt ist, die dann, wenn man einen Theil in Gasform entweichen läſst, durch die erzeugte Verdunstungskälte fest wird. Fig. 69.

---

1 Journal de Chimie médicale N. II. T. VII. 2me Sér. p. 57. Die Zeichnung daselbst ist nur ein undeutlicher Holzschnitt.

F. Wirkungen der Wärme.

1) Ausdehnung der Körper durch dieselbe.

471) In allen bisherigen Untersuchungen ist die Wärme oder eigentlicher der Wärmestoff, in Beziehung auf seine Verbindung mit wägbaren Stoffen, stets als repulsive Potenz oder als Träger dieser Potenz betrachtet worden, und es würde überflüssig seyn, hier nochmals vom *stabilen Gleichgewichte* der Körper zu handeln, welches darin besteht, dafs die Atome der Körper einander anziehn, zugleich aber die sich einander abstofsenden Elemente des Wärmestoffes anziehn, so dafs aus dem Conflicte dieser beiden Kräfte der beharrliche Zustand der Festigkeit, tropfbaren Flüssigkeit oder Gasform entsteht. Hieraus folgt unmittelbar, und man darf wohl sagen nothwendig, dafs die Vermehrung der Wärme die Molecüle der Körper weiter von einander entfernen, also die Massen ausdehnen müsse, was auch mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt; es folgt aber keineswegs daraus, dafs die Wärme eine eigentliche Abstofsung, als Wirkung in die Entfernung, ausübe. Sollte dieses statt finden, so müfsten die zwischen den abgestofsenen Körpern aufgehäuften Wärmeatome sowohl mefsbare Durchmesser haben, damit ihre Anhäufung eine mefsbare Gröfse bildete, als auch sich bei dieser Anhäufung im Zustande der Ruhe befinden, welches beides mit den bekannten Erscheinungen der Wärme im Widerspruche steht. Die Wärme wird durch die Anziehung der Molecüle wägbarer Körper zurückgehalten, und zwar mit einer solchen Kraft, dafs sie bei dem Entweichen von denselben sogar Theilchen in Dampfform mit sich fortreifst, wenn der Flüssigkeitszustand der Körper dieses erlaubt. Trennt sie sich aber ohne dieses von den Körpern, so tritt diejenige Bewegung ein, die wir *Strahlung* nennen, wobei sie nach schneller Bewegung stets wieder an einen andern Körper (so weit unsere genugsam begründeten Erfahrungen reichen) übergeht. Die Repulsion der Wärme wirkt nie anders, als der Adhäsion ähnlich in unmefsbare Ferne, wie sich auffallend in den Erscheinungen zeigt, die LEIDENFROST's Versuch (§. 271 ff.) darbietet, und wenn auch eine Art rückwirkender Abstofsung beim Uebergange aus einem Körper in den andern bei unmittelbarer Berührung ihrer Flächen statt fände, wie einige zur

Erklärung der Oscillationen des *Wacklers* annehmen (§. 285 ff.), so ist dieses noch immer keine Wirkung in die Entfernung. Einige Physiker wollen aber eine durch Wärme erzeugte *Repulsion*[1] aus unzweifelhaften Phänomenen folgern. In den neuesten Zeiten ging Libri[2] mit dieser Hypothese voran, die er hauptsächlich auf die Thatsache stützte, dafs Tropfen von Flüssigkeiten, die an Drähten hängen, der Schwere entgegen sich aufwärts bewegen, wenn man das Ende der Drähte erhitzt, zugleich aber fand er eine Bestätigung derselben in dem Verhalten zweier Flammen, die sich (scheinbar) abstofsen, wie denn auch diese Repulsion Ursache derjenigen Wirkungen seyn soll, welche Davy's Drahtgeflechte (§. 150 u. 151) zeigen. Für die unlängst von ihm aufgestellte Hypothese einer der Wärme zukommenden eigentlichen Repulsion erklärte sich aufser Andern auch Berzelius[3], sofern das Aufsteigen der Tropfen an erhitzten Drähten daraus erklärbar werden sollte; Fresnel[4] wurde dadurch veranlafst, seine bekannten Repulsionsversuche anzustellen, Saigey[5] beobachtete bei seinen Untersuchungen der Entwickelung des Magnetismus in verschiedenen Körpern Phänomene, die er aus keiner andern Ursache, als aus einer Repulsion durch Wärme erklären zu können glaubte, und auch Pouillet[6] betrachtete die von Libri und Fresnel gemachten Beobachtungen, indem er namentlich die Versuche des Letzteren wiederholte, als beweisend für eine solche repulsive Kraft der Wärme. Eigene Versuche zeigten mir jedoch die eigentliche Ursache der durch Fresnel und Andere wahrgenommenen Abstofsungen[7], und das Phänomen der abgestofsenen Tropfen zeigt sich bei näherer Betrachtung als nicht beweisend, weil bei einer vorhandenen Repulsion die *Adhäsion*, vermöge welcher der Tropfen am Drahte fortwährend hängen bleibt, nicht blofs zuvor = 0 werden, mithin der Tropfen herabfallen, son-

1 Vergl. Art. *Abstofsung*. Bd. I. S. 120.

2 Bibliothèque univers. T. XXXIV. p. 175. Poggendorff's Ann. X, 294.

3 Jahresbericht. Neunter Jahrg. Tüb. 1830. S. 45.

4 Ann. de Chim. et Phys. T. XXIX. p. 57 und 107. Bulletin de la Soc. Philom. 1825. Juin. p. 84.

5 Ferrussac Bullet. des Sc. math. T. IX. p. 89. 167. 239.

6 Journ. de Pharmac. T. XIV. p. 150.

7 Vergl. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 547. Anm. 3.

dern auch mit einer gewissen, in Beziehung auf die Adhäsion negativen Kraft fortgestofsen werden müfste, was selbst bei der Glühhitze der Metalle nicht geschieht, insofern sich der Tropfen nie so weit von der Metallfläche entfernt, dafs das Licht zwischen beiden durchgehn könnte (§. 273). Das Ganze beruht also auf einer durch die Hitze bewirkten Verminderung der Adhäsion[1]. Um dieses deutlicher zu übersehn, sey die Stärke der Adhäsion des Tropfens am Drahte von mittlerer Temperatur $= a$ und werde durch eine Temperaturerhöhung von t Graden um $t^{\omega}x$ vermindert, so wird sie dann $= a - t^{\omega}x$ seyn, worin sowohl ω als auch x bis jetzt noch unbekannt sind. Das Verhältnifs der Anziehungen, welche die kältere Stelle ausübt, zu der der wärmeren Stelle wird hiernach $= a:(a - t^{\omega}x)$; der Tropfen wird allerdings durch die gröfsere Kraft der kälteren Stelle von der wärmeren weggezogen, allein es findet an der letzteren fortdauernd noch eine Anziehung $= t^{\omega}x$ statt. Ist aber die letztere Gröfse auch noch so klein, so dafs der Tropfen von der wärmeren Stelle zu der kälteren der Schwere entgegen hingezogen wird, so folgt doch keineswegs aus den bis jetzt bekannten Erfahrungen, dafs sie bei irgend einer Temperatur $= 0$ oder gar negativ werde. Neuerdings hat Baden Powell[2] das Problem einer *Abstofsung durch Wärme* abermals zum Gegenstande genauer Untersuchungen gemacht, aus denen hervorgeht, dafs die Repulsivkraft der Wärme die Capillaradhäsion nicht überwinden kann, dennoch aber zeigt sie sich so unverkennbar durch Abänderung der Gestalt Newton'scher Farbenkreise, dafs nach seiner Ansicht, unterstützt durch eigens von ihm selbst angestellte Versuche, die durch Fresnel und Saigey wahrgenommenen Erscheinungen als Folgen derselben zu betrachten seyn sollen. Wenn wir es aber als ausgemacht ansehn, dafs die Wärmerepulsion die Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten zu festen Körpern zwar zu schwächen, aber nicht aufzuheben vermag, und zugleich berücksichtigen, dafs auch zwischen festen Kör-

1 Vergl. Poggendorff's Ann. XXII. 208.

2 Philos. Trans. 1834. P. II. p. 485. Poggendorff's Ann. XXXIV. 636. Reports of Brit. Ass. Fourth Rep. p. 549. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXXV. p. 317.

pern unter sich Adhäsion statt findet, welche durch Wärme zwar gleichfalls geschwächt wird, ohne daſs eine gänzliche Aufhebung derselben oder gar ein Uebergang zum Negativen bis jetzt factisch erwiesen ist, daſs ferner der Abstand zwischen Flächen zur Erzeugung Newton'scher Farbenringe nur äuſserst gering seyn darf, so daſs die kleinste ungleiche Ausdehnung der Körper durch Wärme leicht merkliche Veränderungen erzeugen kann, so dürfen wir wohl eine in meſsbare Entfernung wirkende Repulsion der Wärme als bis jetzt noch problematisch betrachten, obgleich eine Schwächung der Attraction, vermöge welcher die Molecüle der Körper sich gegenseitig anziehn, und eine hieraus folgende Ausdehnung keineswegs zweifelhaft seyn kann. Die Versuche von R. Addams[1], wonach Kieselerde und sonstige feine Pulver den erhitzten Platingefäſsen weniger, als den kalten adhäriren, dienen als Bestätigung der durch Wärme verminderten Anziehung; wenn aber Talbot[2] als einen Beweis für wirklich statt findende Repulsion die Erscheinung anführt, daſs Schwefel, zwischen zwei Glasscheiben erhitzt, sich von der unteren heiſseren trennt und an die obere kältere anlegt, so gehört dieses zu der groſsen Classe der Destillationen und Sublimationen, wobei zur Dampfform gebrachte Körper mit Verlust eines Theiles ihrer Wärme sich an kältere Körper anlegen, wovon später die Rede seyn wird. Zwischen den einfachen und auch den zusammengesetzten Molecülen der Gase und Dämpfe findet allerdings Repulsion statt, so daſs jene Atome selbst durch die bewegte Wärme mit fortgeführt werden; allein daraus folgt nicht, daſs Körpermassen, welche die Wärme durch Anziehung binden, durch diese ihre Wärme sich abstoſsen sollten; die Abstoſsung der Körpermolecüle tritt vielmehr erst dann ein, wenn sie von so dichten Wärmesphären umgeben sind, daſs ihre Anziehung hierdurch = 0 wird, und sie daher der Bewegung der Wärme folgen, wie sich dieses in der Dampfbildung augenfällig zeigt.

Einen Versuch, die Ausdehnungen aller Körper, von welcher Aggregatform sie auch seyn mögen, auf ein allgemeines Gesetz zurückzuführen, hat Schitko[3] gemacht, und es ist

1 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. XXXVI. p. 415.
2 Ebendaselbst. N. XLVI. p. 189.
3 Wiener Zeitschrift. Th. IV. S. 456. Th. VI. S. 188.

leicht, die Principien kurz darzustellen, von denen er hiebei ausgeht. Ist das anfängliche Volumen eines Körpers $= v$ und dehnt er sich, von irgend einem Puncte des Thermometers ausgehend, durch eine gegebene Vermehrung der Wärme um $\frac{1}{m}$ aus, so ist bei der erhöheten Temperatur sein Volumen

$$v' = v\left(1 + \frac{1}{m}\right).$$

Wird diesem Körper abermals eine gleiche Menge Wärme zugeführt, so wird sein Volumen

$$v'' = v'\left(1 + \frac{1}{m}\right) = v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2,$$

also überhaupt für eine gleiche Menge von Wärmeincrementen, die x heifsen möge,

$$v = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^x.$$

Dieses soll bei den expansiblen Flüssigkeiten statt finden, wie zwar schon von Andern gleichfalls behauptet worden ist, keineswegs aber mit der allgemeinen Erfahrung übereinstimmt und auch nicht aus dem wesentlichen Verhalten der Wärme, welche durch ihre Repulsivkraft die Molecüle der Körper weiter von einander entfernt, sofern uns dieses, jedoch nur unvollkommen, bekannt ist, nothwendig folgt. Schitko deutet zwar bei seiner Argumentation an, dafs man eigentlich vom natürlichen, d. h. absoluten, Nullpuncte ausgehn müsse, allein was hierfür gilt, läfst sich auch für jedes Intervall der Thermometerscale geltend machen, wenn wir eine gegebene Temperatur statt $= t$ vielmehr $= z + t$ setzen, wonach dann die Zunahme eine Reihe $= z + t;\ z + 2t;\ z + 3t \ldots z + nt$ bilden würde, die Summe der Grade unterhalb $t = z$ gesetzt, wodurch jedoch das Verhältnifs nicht abgeändert wird, da jedes Glied durch z dividirt werden kann. Soll nämlich dem nach einer geometrischen Reihe wachsenden Volumen

$$= v;\ v\left(1 + \frac{1}{m}\right);\ v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \ldots v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^n$$

eine die erweiterten Räume ausfüllende proportionale Menge Wärme zugeführt werden, so müfsten die Temperaturen gleichfalls in einer Reihe

$$=t;\ t\left(1+\frac{1}{m}\right);\ t\left(1+\frac{1}{m}\right)^2 \ldots\ldots t\left(1+\frac{1}{m}\right)^n$$

wachsen, was aber nicht der Fall ist. Wir kennen aber, wie gesagt, die Gesetze der Wärme in dieser Beziehung zu wenig, um hierüber etwas Bestimmtes festzusetzen. Gegen den aus der Erfahrung entnommenen Beweis der gleichförmigen Ausdehnung gasförmiger Körper führen die Anhänger der hier in Rede stehenden Theorie das Argument an, dafs eben die thermometrischen Substanzen sich gleichfalls nach einer geometrischen Reihe ausdehnen und daher ein unrichtiges Mafs abgeben. Ein Beweis der gleichmäfsigen Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten scheint mir aber in ihrer specifischen Wärmecapacität zu liegen, welche für gleichmäfsige Volumensvermehrungen zunehmend wächst (§. 438), so dafs hiernach also das umgekehrte Verhalten von dem statt findet, was die angegebene Hypothese annimmt.

Handelt es sich um das Gesetz der Ausdehnung fester oder tropfbar-flüssiger Körper, so setzen diese der Ausdehnung einen mit ihrer Volumensvermehrung abnehmenden Widerstand entgegen, und Schitko glaubt, dafs diese Abnahme im quadratischen Verhältnisse, der Schwere analog, statt finde. Man soll sich dann vorstellen, dafs die Incremente, um welche sich der Körper wegen verminderten Widerstandes mehr ausdehnt, durch einen vermehrten Einflufs der Wärme entstehn, und es fragt sich dann, um was die Wärmegrade x vermehrt werden müssen, damit dieser Bedingung genügt werde. Heifst ein solches Increment der Wärme, welches der Vergröfserung des Volumens in Folge des verminderten Widerstandes zugehört, $=\alpha$, und ist das Volumen eines Körpers für den ersten Wärmegrad bei constantem Widerstande $v=1+\frac{1}{m}$, so wird dieses Volumen bei abnehmendem Widerstande

$$v'=v\left(1+\frac{1}{m}\right)^\alpha=\left(1+\frac{1}{m}\right)^{1+\alpha}.$$

Bei dem zweiten Wärmegrade würde das Volumen

$$v''=v'\left(1+\frac{1}{m}\right)=\left(1+\frac{1}{m}\right)^{2+\alpha},$$

wenn der Widerstand unverändert derselbe bliebe, wie er am

Ende des ersten Wärmegrades war. Da er aber wieder nachläfst und dadurch die Ausdehnung um so viel zunimmt, als wenn die Temperatur um 3α erhöht worden wäre, so wird das eigentliche Volumen desselben

$$v''' = v'' \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{3\alpha} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{2 + 4\alpha}.$$

Aus gleichen Gründen ist das Volumen beim dritten Wärmegrade

$$\left(1 + \frac{1}{m}\right)^{3 + 9\alpha}$$

und überhaupt bei x Wärmegraden

$$v = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{x + \alpha x^2}.$$

Nennt man $\frac{1}{m} = \mu$, so erhält man

$$v = \left(1 + \mu\right)^{x + \alpha x^2}$$

oder

$$\text{Log.}\, v = (x + \alpha x^2)\, \text{Log.}\, (1 + \mu).$$

Zur Bestimmung von α und μ sind zwei Versuche erforderlich. Sind dann für zwei Temperaturen x und X die Volumina v und V bekannt, so erhält man

$$\text{Log.}\, v = (x + \alpha x^2)\text{Log.}\, (1 + \mu),$$
$$\text{Log.}\, V = (X + \alpha X^2)\, \text{Log.}\, (1 + \mu),$$

also

$$\text{Log.}\, (1 + \mu) = \frac{\text{Log.}\, v}{x + \alpha x^2} \text{ oder} = \frac{\text{Log.}\, V}{X + \alpha X^2},$$

$$\alpha = \frac{x\, \text{Log.}\, V - X\, \text{Log.}\, v}{X^2\, \text{Log.}\, v - x^2\, \text{Log.}\, V}.$$

Schitko zeigt in vielen Beispielen, dafs diese Formel Werthe giebt, die mit den durch Beobachtung gefundenen sehr genau übereinstimmen; inzwischen ist hier nicht der geeignete Ort, in eine nähere Untersuchung einer Theorie einzugehn, die wohl nicht unbedingten Beifall finden dürfte.

a) Ausdehnung fester Körper.

472) Um auch hier die im Art. *Ausdehnung* befolgte Ordnung beizubehalten, möge zuerst von der Ausdehnung fester Körper gehandelt werden, wobei sich von selbst versteht, dafs nur dasjenige hier berührt werden kann, was seitdem neu hinzugekommen oder verbessert worden ist. Aufser einigen, zu besonderen Zwecken construirten Apparaten hat man im Allgemeinen die bereits beschriebenen beibehalten, als neu ist jedoch derjenige angegeben, welchen JAMES NASMYTH[1] in Vorschlag gebracht hat. Derselbe besteht aus einer am einen Ende zuge- Fig. 70.
schmolzenen, etwa 1 Zoll weiten und 4 Zoll hohen Glasröhre, oben mit einer messingnen Fassung und einem abzuschraubenden Deckel, in welchem sich eine bis 3 Fufs lange, an beiden Enden offene, in Zoll und Linien getheilte Thermometerröhre befindet. Bei unter sich vergleichbaren Versuchen nimmt man von den zu untersuchenden Körpern gleich grofse Stücke, welche die Röhre A fast ausfüllen, bringt sie in das bereits darin befindliche, bis zu einer mittleren Temperatur erwärmte Wasser, schraubt den Deckel BB auf und bringt vermittelst der kleinen Schraube C das Wasser auf den Nullpunct der Scale. Dann erwärmt man den Apparat in heifserem Wasser bis zu einer höheren Temperatur, bemerkt den Stand, welchen das Wasser hierdurch in der Röhre erreicht, wiederholt den Versuch mit gleich grofsen Stücken anderer Metalle auf dieselbe Weise und erhält hierdurch aus den erreichten Scalentheilen unmittelbar die verhältnifsmäfsige Ausdehnung. Kennt man aber den Kubikinhalt der Scalentheile und zieht man von der beobachteten Ausdehnung die vorher bestimmte des Wassers ab, so erhält man die kubische Ausdehnung des untersuchten Körpers. POGGENDORFF[2] bemerkt mit Recht, dafs dieser Apparat nur eine Abänderung des bereits von DULONG und PETIT in Anwendung gebrachten sey[3] und dafs man bei vielen, namentlich krystallisirten Körpern wegen ihrer nach den Axen ungleichen Ausdehnung von der kubischen nicht auf die lineare schliefsen könne.

---

1 Edinburgh Journ. of Science. N. XII. p. 125. Poggendorff's Ann. IX. 611.

2 Dessen Ann. a. a. O.

3 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 577.

473) Die Gröfse der Ausdehnung fester Körper, namentlich der Metalle, war schon früher mit so grofser Genauigkeit ermittelt worden, dafs hier nur wenige neue Bestimmungen nachzutragen sind. Dahin gehört die Ausdehnung des Messings, welche SABINE[1] nach den Schwingungen messingner Pendelstangen bestimmte und kleiner fand, als die früheren Versuche sie gegeben haben. Die geodätischen Messungen, welche HASSLER[2] in den nordamericanischen Staaten anstellte, veranlafsten ihn, zu Newark in Newjersey die Ausdehnung der gebrauchten eisernen und messingnen Stangen zu messen, und die hierbei erhaltenen Bestimmungen dürfen wohl als vorzüglich genau gelten. NAVIER[3] mafs an den Röhrenleitungen zu Paris die Ausdehnung des Gufseisens und STRUVE[4] die des Tannenholzes, welches zur Aufstellung des grofsen Refractors auf der Sternwarte zu Dorpat gebraucht wurde. PARRY[5] hatte Gelegenheit, die Ausdehnung der Körper durch Wärme in sehr niedrigen Temperaturen zu messen; er versuchte dieses auch bei mehreren Metallen, fand aber, dafs auch das zu den Mefsapparaten dienende Holz sich durch die Wärme ausdehnte, und begnügte sich daher, diese letztere Gröfse zwischen $-40°$ und $+15°,56$ C. zu bestimmen. Für diesen Temperaturunterschied fand er eine Vergröfserung des Volumens = 0,0008333, welches für 100° C. sehr nahe 0,00150 giebt, und also die lineare Ausdehnung des Holzes = 0,0003, mit der durch STRUVE gefundenen Bestimmung für Tannenholz sehr nahe übereinstimmend. Die bereits vielseitig gemessene Ausdehnung einiger gangbarer Metalle suchte auch PRINSEP[6] näher zu bestimmen und erhielt die in der angehängten Tabelle aufgenommenen Gröfsen. Die Veranlassung zu diesen Messungen ging aus dem Bedürfnifs

1 An Account of Experiments to determine the figure of the Earth. Lond. 1825. 4. p. 207.

2 Trans. of the Amer. Phil. Soc. held at Philad. New Ser. T. I. p. 221.

3 Mém. de l'Instit. 1827. p. 454.

4 Beschreibung des grofsen Refractors von FRAUNHOFER. Dorp. 1825. fol. S. 4.

5 Appendix to Capt. PARRY's second Voyage. Lond. 1825. 4. p. 5.

6 Aus Journal of Asiatic Soc. 1833, Mars, in Biblioth. univ. Fev. 1834. T. LVIII. p. 160. Ann. des Mines. T. IX. Liv. II. p. 277.

hervor, die bei den geodätischen Messungen zu Barakpoor gebrauchten Meſsstangen mit genügender Schärfe für die Temperatur zu corrigiren. Zur Vergleichung dienten sehr fein getheilte Etalons, die aus London mitgenommen worden waren; das Ablesen geschah durch stark vergröſsernde Mikroskope, die Erwärmung bis zur Siedehitze des Wassers mittelst Dampfes, und insbesondere wurde die Vorsicht angewandt, die erzeugte Temperatur der Stäbe eine hinlänglich lange Zeit zu erhalten, damit sie sich durch die ganze Masse derselben ausbreiten konnte, und es dürfen demnach diese Bestimmungen, insbesondere die für das Eisen mit Beschränkung auf die untersuchte eigenthümliche Sorte, für sehr genau gelten. Einer besonderen Untersuchung unterwarf Hällström[1] die Ausdehnung des Glases, dessen er sich zu seinen wichtigen Messungen der Ausdehnungsgesetze des Wassers bediente, und gebrauchte hierzu den Apparat, welchen er schon früher für ähnliche Zwecke angewandt hatte. Die zu messende Glasstange befand sich in einem hölzernen Kasten, an dessen eine Seitenwandung sie durch eine Feder angedrückt wurde, während sie horizontal auf Messingdrähten ruhend sich frei ausdehnen konnte; am andern Ende war eine messingne Scheibe mit feinen Einschnitten auf dem Rande aufgesteckt, um mittelst eines Mikroskops die Verrückung eines dieser Einschnitte in Folge der erzeugten Ausdehnung zu beobachten und die Gröſse der Ausdehnung zu messen. Im hölzernen Kasten befand sich das zum Erwärmen dienende Wasser, dessen Temperatur bei fleiſsigem Umrühren mittelst zweier, an beiden Enden befindlichen Thermometer bestimmt wurde. Aus Messungen zwischen 3° und 30° C. erhielt er für die Länge der Röhre, diese bei 0° C. = 1 angenommen,

$$L = 1 + 0{,}00000196 . t + 0{,}000000105 . t^2,$$

wenn L die Länge und t Grade der hunderttheiligen Scale bezeichnen[2]. Werden hiernach die wachsenden Ausdehnungen

---

1 Aus Vetenskaps Acad. Handlingar för År 1823 in Poggendorff's Ann. I. 149.

2 Erman entwickelt aus den im Art. *Ausdehnung* Bd. I. S. 578 angegebenen Messungen von Dulong und Petit für die lineare Ausdehnung des Glases die Formel:

$$L = 1 + 0{,}000024\, t + 0{,}000000022984\, t^2.$$

des Glases bis 100° C. berechnet und mit denen verglichen, welche von Lavoisier und Roy unter der Voraussetzung gefunden worden sind, daſs die Ausdehnung des Glases zwischen diesen beiden Temperaturen sich gleichbleibend sey, so giebt dieses die in nachstehender Tabelle zusammengestellten Werthe.

Ausdehnung des Glases.

Temperaturen	Lavoisier	Roy	Hällström
0°	0	0	0
10	0,000087	0,000078	0,000030
20	0,000175	0,000155	0,000081
30	0,000263	0,000233	0,000153
40	0,000350	0,000310	0,000246
50	0,000348	0,000388	0,000361
60	0,000526	0,000466	0,000496
70	0,000613	0,000543	0,000652
80	0,000701	0,000621	0,000829
90	0,000788	0,000698	0,001027
100	0,000876	0,000776	0,001246

Die groſse Abweichung dieser Resultate soll auf der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Ausdehnung und der Verschiedenheit der angewandten Glassorten beruhn; allein in Beziehung auf das erste Argument läſst sich zwar nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen annehmen, daſs wirklich eine mit der Temperatur wachsende Zunahme statt findet, jedoch eine so starke, als sie hiernach seyn müſste, ist nach aller Analogie sehr unwahrscheinlich, denn wollte man auch nach den Erscheinungen, welche das Thermometer[1] in der Nähe des Nullpunctes darbietet, für diese Temperatur eine stärkere Zusammenziehung des Glases annehmen, so könnten bei vollkommen calibrirten Röhren die dem Siedepuncte nahe liegenden Grade nicht mehr richtig seyn, denn die Ausdehnung des Glases von 10° bis 20° beträgt 0,000051 und von 90° bis 100° nicht weniger als 0,000219, ist also 4mal stärker und müſste eine merkliche Verkürzung der höhern Grade zur Folge haben, die unmöglich bis jetzt der Beachtung entgehn konnte. Daſs die Ursache der so bedeutenden Abweichung in der Eigenthümlichkeit der gebrauchten Glassorte liegen sollte, hat mindestens

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 932. Anm. 1.

viel wider sich, denn unter den 15 mit verschiedenen Glassorten angestellten[1] Messungen beträgt der Unterschied des gröſsten und geringsten gefundenen Werthes 0,00021485, die von Hällström für 100° C. erhaltene Gröſse aber übertrifft den gröſsten jener Werthe um 0,00025500, mithin den kleinsten um 0,00046985.

Ich selbst[2] maſs die lineare Ausdehnung des Glases zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers aus der kubischen bei zwei Glaskugeln, und fand die der einen 0,00088517, die der andern aber 0,00088446, was durch seine Uebereinstimmung mit früher erhaltenen Resultaten diesen zur Bestätigung dient. Durch ein gleiches Verfahren, aber mittelst einer weit gröſseren Reihe von Versuchen bestimmte auch Rudberg[3] die Ausdehnung des Glases, wobei er zugleich eine bequeme Art, die gefundenen Gröſsen zu berechnen, mittheilt. Allgemein bestimmt man nämlich das Gewicht des in der Glaskugel und ihrem Röhrchen befindlichen Quecksilbers, erhitzt den Apparat bis zur Siedehitze und findet dann das Gewicht des in dieser Temperatur ausgeflossenen Quecksilbers. Ist dann das Gewicht des zwischen 0° und der Siedehitze T′ ausgeflossenen Metalls $= \omega'$, so wird wegen des durch den Barometerstand bedingten Siedepunctes das Gewicht des zwischen 0° und 100° C. ausgeflossenen:

$$\omega = \frac{100}{T'} \omega'.$$

Heiſst dann ferner die wahre Ausdehnung des Quecksilbers zwischen 0° und 100° C. Δ, die des Glases δ, so ist das Volumen des Quecksilbers bei 100° C. $= V(1 + \Delta)$ und das der Kugel $= V(1 + \delta)$, mithin das Volumen des ausgeflossenen Quecksilbers $= V(\Delta - \delta)$. Wiegt dann die Volumeneinheit des Quecksilbers bei 0° $= b$ und bei 100° $= b'$, und setzt man $P = bV = b'V(1 + \Delta)$, so erhält man:

$$b' = \frac{b}{1+\Delta}; \quad \omega = b'V(\Delta - \delta) = P\,\frac{\Delta - \delta}{1+\Delta},$$

woraus die wahre Ausdehnung des Glases zwischen 0° und 100° C. gefunden wird:

---

1 S. oben Bd. I. S. 585.

2 Mém. présent. à l'Acad. Imp. des Sc. de Petersb. T. I.

3 Poggendorff's Ann. XLI. 279. Vergl. S. 568.

$$\delta = \Delta - \frac{\omega}{P}(1+\Delta).$$

Hierin muſs die Ausdehnung des Quecksilbers bekannt seyn, die aber durch Dulong und Petit mit hinlänglicher Genauigkeit gefunden worden ist. Wird also dieser Werth für Δ substituirt, so erhält man

$$\Delta - \delta = 1{,}018018\frac{\omega}{P}$$

oder

$$\delta = 0{,}018018 - 1{,}018018\frac{\omega}{P}.$$

Aus nicht weniger als 24 Messungen fand Rudberg die Gröſse $\Delta - \delta$ so nahe übereinstimmend, daſs der gröſste Werth 0,015761, der kleinste 0,015697 und das Mittel aus allen 0,015733 beträgt, woraus die kubische Ausdehnung des Glases $= 0{,}018018 - 0{,}015733 = 0{,}002285$, also die lineare $= 0{,}0007617$ hervorgeht. Diese Bestimmung ist kleiner als alle bisher gefundenen, und kommt der einen von Roy $= 0{,}00077615$ am nächsten. Rudberg bemerkt indeſs, daſs die untersuchte Glassorte *Kaliglas* von Reymyra war, welches ungleich härter und daher weniger ausdehnbar ist, als das gewöhnliche Natronglas. Zugleich ergiebt sich aus diesen Messungen, daſs die Ausdehnung der nämlichen Glassorte, auch wenn sie aus verschiedenen Hafen genommen ist, keine merkliche Aenderung der Ausdehnung zeigt.

474) Es ist gegenwärtig nicht mehr zweifelhaft, daſs auſser den gasförmigen alle Körper bei wachsender Wärme sich zunehmend ausdehnen, wobei indeſs eine anfangs statt findende Zusammenziehung einiger Flüssigkeiten, welche den Punct ihrer gröſsten Dichtigkeit erzeugt, Berücksichtigung verlangt. Als ebenso ausgemacht wird betrachtet, daſs im Ganzen gasförmige Körper für gleiche Temperaturzunahmen am stärksten, tropfbarflüssige weniger und feste am wenigsten eine Zunahme ihres Volumens erhalten. Bei den Bestimmungen hierüber bietet sich ein bedeutendes, leider aber unvermeidliches, Hinderniſs dar, sofern man verlangt, daſs die tropfbar-flüssigen Körper von den festen unterschieden werden, was übrigens aus dem angegebenen Grunde der bedeutend ungleichen Ausdehnung nicht wohl anders geschehen kann, obgleich der Uebergang aus dem einen dieser Aggregatzustände in den andern bei sehr ungleichen Temperaturen erfolgt und daher bei manchen dieſer Uebergang

schon zwischen beiden festen Puncten des Thermometers, beim Eise gerade bei 0° C. und bei einigen Körpern unter 0° C. erfolgt. Im Allgemeinen pflegt man diejenigen Körper flüssig zu nennen, die sich bei mittleren Temperaturen oder noch bestimmter über dem Nullpuncte des Thermometers in diesem Aggregatzustande befinden. Hieraus geht aber hervor, daſs für manche Körper schon bei Temperaturen, die zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers liegen, ganz verschiedene Gröſsen ihrer Ausdehnung zur Untersuchung kommen, je nachdem sie sich in dem einen oder dem andern dieser Aggregatzustände befinden, wozu dann noch eine neue über ihr Verhalten beim Uebergange aus dem einen in den andern kommt. In Beziehung auf Eis wuſste man schon lange, daſs es sich beim Uebergange in den tropfbaren Zustand bedeutend zusammenzieht; ebenso bekannt ist dieses vom Wismuth und einigen andern Substanzen, allezeit setzte man aber ein eigenes Gesetz der Ausdehnung für den Zustand der Festigkeit und ein davon verschiedenes für den Flüssigkeitszustand voraus, ohne dabei anzunehmen, daſs auch bei festen Körpern ein ähnliches Verhalten statt finde, als bei den tropfbar-flüssigen, vermöge dessen sie in der regelmäſsig fortschreitenden Ausdehnung wieder rückwärts gehen und einen Punct der gröſsten Dichtigkeit zeigen. Es war daher eine interessante Entdeckung G. A. Erman's[1], diese Eigenschaft beim *Rose'schen Metall* (2 Th. Wismuth, 1 Th. Zinn und 1 Th. Blei) wahrzunehmen, und es wäre allerdings der Mühe werth, auch andere, nicht sehr strengflüssige Körper in dieser Hinsicht zu untersuchen. Die Gröſse der Ausdehnung bestimmte er aus dem specifischen Gewichte dieser Legirung vermittelst der Abwägungen in Olivenöl, maſs dabei die Temperatur des Metalles durch unmittelbare Messung, da es unmöglich war, sie aus der des Oeles zu bestimmen, und fand auf diese Weise das merkwürdige Verhalten dieses Körpers, welches aus der graphisch dargestellten Linie seiner Ausdehnung für Grade nach R., wobei 0,1 des Volumens bei 0° R. als Maſsstab dient, am deutlichsten übersehn wird. Von 0° bis 35° R. ist die Vergröſserung des Volumens Fig. 71.

1 Rationis quae inter volumina corporis eiusdem: solidi, liquescentis, liquidi, intercedit specimen. Berol. 1826. 4. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. IX. 557.

den Zunahmen der Temperatur fast genau proportional, dann folgt eine rasche Verminderung bis 55° R. und sofort wieder stark zunehmende Vergröfserung, die über dem Schmelzpuncte bei 75° R. noch nicht aufhört, sondern bis 80° R. fortgeht, von wo an eine der anfänglichen fast gleiche Ausdehnung des flüssigen Metalls eintritt, die der Regel zuwider etwas kleiner ist, als die des starren Metalles vom Gefrierpuncte des Wassers an. Es wäre allerdings der Mühe werth zu ermitteln, ob dieses aufsergewöhnliche Verhalten durch das sehr krystallinische Wismuth allein oder durch dessen Verbindung mit den andern beiden Metallen bewirkt wird.

Interessant ist gleichfalls die Auffindung der Ausdehnung des *Phosphors* im festen Zustande, verglichen mit der im flüssigen. Die Wägungen geschahen hierbei im Wasser und es fand sich der Regel gemäfs die Ausdehnung des flüssigen stärker, als die des festen, in beiden mit nicht merklicher Zunahme bei wachsenden Temperaturen; im Augenblicke des Schmelzens zeigte sich aber eine sehr auffallende Vergröfserung des Volumens. Erman fügt noch die Bemerkung hinzu, dafs dieses Verhalten der untersuchten Körper sehr zur Unterstützung der Hypothese dient, wonach der Aggregatzustand der Körper und die Ausdehnung derselben durch den Conflict der Attraction ihrer Molecüle und der repulsiven Kraft des Wärmestoffs bedingt wird[1].

475) Die Ausdehnung nicht metallischer fester Körper, als der Steine, des Mörtels u. s. w., betrachtet man meistens als so gering, dafs sie für die praktische Anwendung keine Beachtung verdient, und aufserdem sind die Messungen dieser Gröfsen ausnehmend schwierig, weil man diese Körper nicht leicht in hinlänglich langen Stangen erhalten kann, wie bei den Versuchen mit Metallen geschieht. Inzwischen hat man wahrgenommen, dafs hohe Thürme durch den Einflufs der Sonnenhitze einseitige Beugungen erhalten[2], wodurch der Stand der astronomischen Werkzeuge verrückt wird, und wenn die allgemeine Erfahrung zeigt, dafs alle Arten von Töpferwaare durch die Hitze des Brennens schwinden, so findet diese Zusammenziehung doch nur so lange statt, bis sie gehörig zusammengesin-

1 Vergl. theoretische Untersuchungen hierüber von W. S. Sarrt in Edinb. Journ. of Science New Ser. N. 1. p. 17.

2 Bouguer machte nach einer Beobachtung an einem Steinpflaster unter dem Aequator zuerst hierauf aufmerksam. S. Industriel 1829. Janv. S. 453.

tert (hart gebrannt) sind, nachher aber dehnen sie sich allerdings durch Wärme aus, wovon man sich namentlich durch das Springen des Porcellans bei rascher Erhitzung überzeugt; auch habe ich gesehen, dafs ein Porcellan-Ofen in Wien den umgelegten eisernen Reifen durch seine Ausdehnung in Folge der Erhitzung gesprengt hatte. Durch feine Versuche ist es gelungen, die Gröfse der Ausdehnung verschiedener derartiger Körper zu messen. So soll, jedoch nur annähernd genau, die Ausdehnung des weifsen Marmors 0,001 und die des schwarzen 0,0004 für 100° C. betragen[1]. Nach Versuchen von W. Bartlett[2] beträgt die Ausdehnung des Marmors (ohne Angabe der Farbe, welche allein wohl schwerlich einen solchen Einflufs haben kann, dafs sie die Ausdehnung auf weniger als die Hälfte herabzubringen vermöchte, indem dieses vielmehr eine Folge der ungleichen Beschaffenheit dieses Gesteins seyn mufs) 0,0010202. Eben derselbe hat auch genauere Bestimmungen für Sandstein und Granit gefunden, die in der unten folgenden Tabelle aufgenommen worden sind. Die zahlreichsten Versuche, und wohl die genauesten über diese Aufgabe, hat Adie[3] angestellt, indem er sich dabei eines eigens construirten Apparates bediente, welcher noch den 30000sten Theil eines englischen Zolles angab und daher selbst kleinere Stangen, Würfel und Parallelepipeda zu messen gestattete. Im Allgemeinen fand er die Längenausdehnung der untersuchten Steine und Mörtel der des Gufseisens sehr nahe kommend; die einzelnen Werthe enthält die Tabelle. Vicat[4] bemerkte die Ausdehnung der Steine an einer bei Souillac über die Dordogne gebaueten Brücke anfänglich nur im Allgemeinen, und als er sich von der Thatsache hinlänglich überzeugt hatte, mafs er mit einem eigens construirten Apparate die Gröfse der Ausdehnung dieses feinkörnigen weifsen Kalksteins, die er für 100° C. = 0,000251 fand[5]. Sorgfältiger verfuhr Destigny[6], indem er die Ausdehnung der von ihm ge-

---

1 The London and Paris Observer. 1831. Sept.

2 Amer. Journ. of Science T. XXII. p. 136. Biblioth. univ. 1833. p. 297. Edinburgh New Annals of Philos. N. XXVI. p. 304.

3 L'Institut 1835. N. 113. p. 222. Biblioth. univ. 1837. Juin. p. 403. Compt. rend. T. I. p. 56. Ann. des Mines T. IX. Liv. II. p. 275.

4 Ann. de Chim. et Phys. 1824. Dec.

5 Ebend. 1827. Dec.

6 Industriel. 1829. p. 453. Dingler's polytechn. Journ. XXXIII. S. 295.

messenen Steine aus dem Unterschiede zwischen ihrer eigenen und der bekannten des Eisens und Kupfers bestimmte, welche der Controle wegen beide angewandt wurden. Eine der untersuchten Steinarten, die von St. Leu, maſs er auch im trocknen und nassen Zustande, nahm hierbei aber keinen Unterschied wahr. Auf ähnliche Weise untersuchten auch JOHN DUNN und EDWARD SANG[1] die Ausdehnung des schwarzen und weiſsen Marmors, indem sie dieselbe mit der des Glases verglichen. Um die letztere für die hierbei anzuwendenden Glasröhren genauer zu ermitteln, bliesen sie eine der Röhren zu einer Kugel mit einem Haarröhrchen auf, füllten diesen Apparat mit frisch destillirtem Quecksilber, erhitzten ihn dann bis zur Siedehitze, wogen das ausgelaufene Quecksilber, und indem sie die von LAPLACE im Système du Monde angegebene Ausdehnung des Quecksilbers von $\frac{1}{5412}$ für jeden Grad der Centesimalscale zum Grunde legten[2], fanden sie hiernach die lineare Ausdehnung des Glases $= 0{,}000988$. Ihre Versuche ergaben, daſs der weiſse Marmor mehr, der schwarze weniger als das Glas ausgedehnt wurde, denn beim ersten betrug sie 0,001072, beim letzteren 0,000426. Dieses stimmt damit überein, daſs die dichteren Körper sich weniger ausdehnen, denn das specifische Gewicht des weiſsen war 2,65, das des schwarzen dagegen 3,0.

476) Viele, wohl die meisten Körper dehnen sich durch zunehmende Wärmegrade zunehmend aus, wie im Art. *Ausdehnung* bereits erörtert wurde. DANIELL[3] hat das, was hierüber bekannt war, durch eine bedeutende Menge von Thatsachen vermehrt, indem er sich zum Messen der höheren Temperaturen seines Register-Thermometers bediente. Seine Messungen begannen von 62° F. (16°,67 C.) und gingen dann zuerst bis zum Siedepunkte des Wassers, demnächst bis 662° F. oder 350° C., endlich bis zum Schmelzpuncte derselben, und zeigen, daſs alle von ihm untersuchte Körper sich zunehmend ausdehnen, auſserdem aber auf

1 Edinburgh New Philos. Journal. N. XXI. p. 66.

2 Diese Bestimmung ist gröſser, als die von DULONG und PETIT gefundene $= \frac{1}{5550}$ für jeden Centesimalgrad. Hiernach muſsten die Beobachter die Ausdehnung des Glases zu geringe und somit die der Marmorarten zu groſs finden. Der Unterschied ist nicht sehr bedeutend, allein es fällt auf, daſs sie dennoch die Ausdehnung des Glases so groſs fanden.

3 Philosoph. Trans. 1831. p. 443 ff.

eine aufserordentliche Weise beim Schmelzpuncte. Als allgemeine Bemerkung darf noch hinzugesetzt werden, dafs die *Ausdehnung der Legirungen* nicht die mittlere der vereinten Metalle ist, sondern eine eigenthümliche, die jedoch durch diese bedingt wird. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der wachsenden linearen Ausdehnungen für die zugehörigen, auf Centesimalgrade reducirten Temperaturen, die Länge bei 16°,67 C. als Einheit angenommen.

Substanzen.	Ausdehnung für		
	83°,33	333°,33	Schmelzpunct.
Graphit-Waare (0,75 Graphit, 0,25 Thon)	1,000244	1,000703	. . . .
Wedgwood-Waare	1,000735	1,002995	. . . .
Platin	1,000735	1,002995	. . . .
Schmiedeeisen	1,000984	1,004483	. . . .
Gufseisen	1,000893	1,003943	1,016389
Gold	1,001025	1,004238	. . . .
Kupfer	1,001430	1,006347	1,024376
Silber	1,001626	1,006886	1,020640
Zink	1,002480	1,008527	1,012621
Blei	1,002323	. . . .	1,009072
Zinn	1,001472	. . . .	1,003798
Messing (0,25 Zink) . . .	1,001787	1,007207	1,021841
Bronze (0,25 Zinn)	1,001541	1,007053	1,016336
Pewter (0,2 Zinn, 0,8 Kupfer) .	1,001696	. . . .	1,003776
Lettern-Metall	1,001696	. . . .	1,004830

Das Platin schmilzt bekanntlich nicht, seine Länge betrug aber bei der gröfsten erlangten Hitze 1,009926, und die des Schmiedeeisens beim Schmelzpuncte des Gufseisens 1,018378.

Die neu aufgefundenen Bestimmungen der linearen Ausdehnung für einen Temperaturunterschied zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers, also für 80° R. oder 100° C., die Länge des Körpers bei 0° als Einheit angenommen, sind in der folgenden Tabelle mitgetheilt, aufserdem einige wenige Verbesserungen der früheren Tabelle, die zur Unterscheidung ein Sternchen (*) haben.

Substanzen	Gröfse bei 100° C.	Beobachter.
Blei	1,00278560	Daniell
	1,00295400	Prinsep
Bronze	1,00184920	Daniell
Baustein von Caithness	1,00089470	Adie
— von Arbroath	1,00089850	Adie
Cement, römischer	1,00143489	Adie
Eisen (Schmiede-)	1,00113475*	Dulong und Petit
	1,00121500	Prinsep
	1,00122400*	Horner
	1,00125343	Hassler
	1,00122045	Destigny
	1,00118080	Daniell
(Gufs-)	1,00107160	Daniell
	1,00098500	Navier
	1,00114676	Adie
	1,00110217	Adie
Glas	1,00124600	Hällström
	1,00098800	Dunn und Sang
	1,00088517	Muncke
	1,00088446	Muncke
(Kaliglas)	1,00076170	Rudberg
Gold	1,00123000	Daniell
fast rein	1,00143400	Prinsep
Granit	1,00086850	Bartlett
rother von Peterhead	1,00089680	Adie
grauer von Aberdeen	1,00078943	Adie
Graphitwaare (0,75 Gr., 0,25 Thon)	1,00029280	Daniell
Holz	1,00030000	Parry
Kalkstein, weifser	1,00025100	Vicat
grüner von Ratho	1,00080890	Adie
Kupfer	1,00171820*	Dulong und Petit
	1,00171600	Daniell
gewalztes	1,00169100	Prinsep
	1,00169900	Edinb. Encycl.
Lettern-Metall	1,00203520	Daniell
Marmor	1,00102020	Bartlett
weifser	1,00100000	Lond. and Paris Observer
schwarzer	1,00040000	Lond. and Paris Observer
carrarischer	1,00084867	Destigny
	1,00065390	Adie
	1,00107200	Dunn und Sang
weifs, sicil.	1,00110411	Dunn und Sang
schwarzer	1,00042600	Dunn und Sang
schwarz, von Galway	1,00044519	Dunn und Sang

Substanzen	Größe bei 100° C.	Beobachter.
von St. Béat . .	1,00041810	Destigny
von Solst . . .	1,00056849	Destigny
Messing	1,00187821	Destigny
	1,00176050	Sabine
geglühetes . .	1,00189163	Hassler
	1,00190600	Prinsep
(0,25 Zink, 0,75 Kupf.)	1,00214440	Daniell
Pewter	1,00203520	Daniell
Platin	1,00088200	Daniell
Sandstein	1,00171570	Bartlett
von Liver-Roch .	1,00117430	Adie
Silber	1,00195120	Daniell
mit $\frac{1}{12}$ Kupfer . .	1,00190400	Prinsep
Stein, von Vernon sur Seine	1,00043027	Destigny
von St. Leu . .	1,00064890	Destigny
schiefrig, von Penrhyn	1,00103760	Adie
Ziegel, ord. . .	1,00055020	Adie
spröder .	1,00049280	Adie
Tannenholz	1,00035200	Struve
	1,00049590	Kater
Thon, holländ. Pfeife . .	1,00045730	Adie
Wedgwood-Stange . .	1,00045294	Adie
Waare . . .	1,00088200	Daniell
Zink	1,00297600	Daniell
Zinn	1,00176640	Daniell

477) Unsere Kenntniſs der Ausdehnung fester Körper durch Wärme ist durch einen für die Theorie höchst wichtigen Beitrag erweitert worden, in Mitscherlich[1] die höchst interessante Entdeckung machte, daſs gewisse Krystalle sich nach der Richtung ihrer Axen verschieden ausdehnen. Bei seiner Messung von Kalkspathkrystallen mittelst eines Pistor'schen Repetitions-Goniometers gewahrte er einen Unterschied der Winkel, dessen Ursache er in nichts anderem, als dem Einflusse der Temperatur glaubte suchen zu dürfen, und wirklich wuchs dieser Unterschied durch Erhöhung der Wärme, so daſs er für 100° C. bis zu 8'30" sieg. Durch Fortsetzung der Versuche, wobei er die Krystalle in Quecksilber erhitzte, gelangt er zu folgenden allgemeinen Resultaten: 1) Krystalle, die zum regelmäſsigen Systeme

1 Poggendorff's Ann. I. 125. Vergl. Phil. Mag. first Ser. T. LXIV. p. 162. Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. I. p. 417.

gehören und keine doppelte Strahlenbrechung zeigen, dehnen sich nach allen Seiten gleichmäfsig aus. 2) Krystalle, deren primitive Form ein Rhomboëder oder sechsseitiges Prisma ist, verhalten sich in der Richtung der Hauptaxe anders gegen die Wärme, als in der der Nebenaxen. Der Kalkspath z. B. dehnt sich in der Richtung der Hauptaxe, die beide Winkel mit einander verbindet, anders aus, als nach den Nebenaxen, die hierauf senkrecht stehen; indefs ist bei letzteren in diesem Systeme die Ausdehnung gleich. 3) Krystalle, bei denen die doppelte Strahlenbrechung von zwei Axen abhängig ist (z. B. deren primitive Figur ein Rectangulär-Oktaëder, ein Rhomben-Oktaëder ist), dehnen sich nach allen drei Richtungen verschieden aus. 4) Die Ausdehnung der Krystalle steht in einem bestimmten Verhältnifs zu den optischen Axen, und zwar so, dafs die kleineren Axen sich verhältnifsmäfsig stärker ausdehnen. Fresnel[1] bediente sich eines sinnreichen Verfahrens, um die Sache anschaulich zu machen. Er leimte zu diesem Ende vermittelst eines in der Hitze flüssigen Leims zwei dünne Blättchen krystallisirten Gypses so auf einander, dafs ihre Axen sich durchkreuzten, und indem sie sich dann nach dem Festwerden des Leims beim Erkalten blofs nach einer Richtung stark zusammenzogen, entstand eine schiefgebogene Platte. Mitscherlich[2] verfolgte die Erscheinung weiter, aus welcher nach richtiger Ansicht unverkennbar hervorgeht, dafs die Molecüle nach den durch die Axen bezeichneten Richtungen verschieden angeordnet sind, was jedoch bei den zum regulären Systeme gehörigen, z. B. der Blende und dem Spinell, nicht der Fall ist, wohl aber bei denen, die zur Krystallform des Quadratoktaëders, so wie zu der des Rhomboeders und des sechsseitigen Prima's gehören. Durch weiter fortgesetzte und oft wiederholte Versuche überzeugte er sich, dafs die Ausdehnung der dieses unerwartete Verhalten zeigenden Körper von ihren Axen abhängig sey, sofern namentlich beim Kalkspath die gröfste Ausdehnung in der Richtung der kleinen Axe statt finde, in welcher die Atome sich am nächsten liegen, dafs die Ausdehnung ferner bei verschiedenen, zum nämlichen Systeme gehörigen Krystallen

---

1 Bullet. des Scienc. math. 1824. Fevr. p. 100. Poggendorff's Ann. II. 109.

2 Poggendorff's Ann. X. 137.

ungleich sey, ohne dafs diese Ungleichheit in einem bestimmten Verhältnisse zur Länge ihrer Axen stehe.

Demnächst wandte er sich zu der Aufgabe, aufser der relativen Ausdehnung dieser Krystalle auch die absolute zu messen. Hierzu fand er sich um so mehr bewogen, als in Gemäfsheit der Veränderung der Winkel beim Kalkspath die Ausdehnung desselben in der Richtung der Hauptaxe für 100° C. =0,00342, also gröfser gefunden worden war, als die irgend eines andern Fossils. Die Messung der absoluten Ausdehnung dieser Krystalle stellte er gemeinschaftlich mit Dulong nach dessen Methode[1] an, und es ergab sich hieraus die Gesammt-Ausdehnung des Kalkspaths für 100° Temperaturunterschied = 0,001961, also kleiner, als die in einer Richtung. Wegen dieses überraschenden Resultates mafs er die Ausdehnung des Kalkspaths an zwei Stücken, bei dem einen in der Richtung der Hauptaxe, beim andern in der auf diese perpendiculären, mittelst des Sphärometers, verglich sie zugleich mit der des Glases und fand hierdurch, dafs dieses Fossil, indem es sich in der Richtung der Hauptaxe durch Wärme ausdehnt, sich in der auf diese normalen zusammenzieht. Das Glas dehnt sich nach Dulong um 0,000861 aus, und da dieselbe in diesen Versuchen 0,001421 mehr betrug, als die des Kalkspathes in der auf die Hauptaxe lothrechten Richtung, so mufste sich letzterer um 0,001421 — 0,000861 = 0,00056 zusammengezogen haben. Hiernach findet also in der Richtung der Hauptaxe nach der Winkelmessung eine wirkliche Ausdehnung von 0,00342 — 0,00056 = 0,00286 statt. Hiervon die Ausdehnung nach der hierauf lothrechten abgezogen giebt eine totale Ausdehnung von 0,00286 — 2 × 0,00056 = 0,00174, statt dafs die directen Messungen 0,001961 gegeben hatten, eine Abweichung, die bei so zusammengesetzten Bestimmungen für nicht grofs gelten mufs. Mitscherlich[2] hat später ein einfaches Verfahren angegeben, diese ungleiche Ausdehnung wahrzunehmen. Dieses kann geschehen bei geeigneten Zwillingskrystallen, namentlich denen des Gypses, oder durch pafsliche Vereinigung zweier Stücke vermittelst eines Kittes, welcher die Siedehitze verträgt. In derjenigen Temperatur, die sie bei ihrer Vereinigung hatten, liegen ihre Flächen cc, c′c′ Fig. 72.

1 S. Bd. I. S. 577.

2 Poggendorff's Ann. XLI. 213.

in einer geraden Ebene und geben daher nur ein Bild, in höherer bilden sie einen stumpfen Winkel und geben zwei Bilder.

b) Ausdehnung tropfbar-flüssiger Körper.

478) In diesem Gebiete ist seit dem Erscheinen des ersten Bandes dieses Werkes viel geschehen, welches sich am besten der Uebersicht früherer Untersuchungen in der dort gewählten Ordnung anreihen läſst[1]. Ueber die *Ausdehnung des Quecksilbers* sind keine weiteren Versuche angestellt worden, weil die darüber bereits bekannten allen Forderungen genügen. Desto gröſserer Fleiſs ist von vielen Seiten aufgewandt worden, die

α) Ausdehnung des Wassers

genauer zu erforschen. Ein Vorschlag von Meikle[2], hierzu, und namentlich zur Auffindung des Punctes der gröſsten Dichtigkeit, einen umgekehrten doppelten Heber in Anwendung zu bringen, möge nur beiläufig erwähnt werden, denn man übersieht bald, daſs für Messungen dieser Art, namentlich beim Wasser, wegen der Capillarität die Scale die erforderliche Feinheit nicht erhalten kann. Bei weitem die zahlreichsten und genauesten Versuche zur Aufhellung dieses Problems hat Hällström angestellt, diesen schlieſsen sich die von Despretz an; meine eigenen muſs ich gleichfalls erwähnen, und auch Stampfer hat einen nicht unwichtigen Beitrag hierzu geliefert. Wir wollen diese alle hier der Reihenfolge nach, weil sie sich auf einander beziehn, mit der nöthigen Ausführlichkeit betrachten, um zu einer sichern Grundlage der anzunehmenden Gröſsen zu gelangen.

479) Hällström[3] hatte schon früher eine Reihe von Versuchen hierüber angestellt und nahm dann dieses Problem abermals vor. Zuerst giebt er eine prüfende Uebersicht der früheren Bemühungen von de Luc, Dalton, Blagden und Gilpin,

---

1 Eine sehr vollständige Zusammenstellung der bekannten Thatsachen findet man in: Dissert. phys. inaug. de dilatatione liquidorum per calorem. Scr. Ger. Simons. Traj. ad Rhen. 1823.

2 Philos. Magaz. T. LXVIII. p. 166.

3 Vetenskaps Acad. Handlingar för år 1823. Poggendorff's Ann. I. 125.

Rumford, Tralles, Hope, G. G. Schmidt, Charles, Lefevre-Gineau, Bischof und von ihm selbst, welche sämmtlich in dem hierher gehörigen Artikel[1] bereits erwähnt worden sind, außerdem aber die von Ekstrand[2], welcher sich der durch Rumford, Tralles und Hope angewandten Methode bediente und damit den Punct der gröfsten Dichtigkeit zwischen 3°,6 und 3°,9 C. fand. Gelegentlich können hier auch noch die Versuche Achard's[3] erwähnt werden, welcher die Ausdehnung von vierzig verschiedenen Flüssigkeiten nach der durch de Luc angewandten Methode zu bestimmen suchte; allein da er auf die Ausdehnung des Glases keine Rücksicht nahm und aufserdem die bei solchen Versuchen unerläſslichen näheren Betimmungen fehlen, so sind die erhaltenen Resultate ohne eigentlichen Werth. Bei seinen neuen Versuchen bediente sich Hällström einer kleinen hohen Glaskugel, die nach dem Zublasen mit einem geringen Uebergewichte im Wasser niedersank und aus deren Gewichtsverluste im Wasser die Dichtigkeit desselben nach gehöriger Correction für die Ausdehnung des Glases sich finden liefs. Um alle Ursachen der zu begehenden Fehler möglichst zu vermeiden, mafs er zuerst die Ausdehnung des gebrauchten Glases (§. 473), und erhielt hierfür die angegebene, von allen andern bedeutend abweichende Bestimmung. Diese Kugel, mittelst eines dünnen Haares am einem Arme einer feinen Waage von Hunter hängend, senkte er in das Wasser, dessen Gefäſs in einem gröfseren, mit Wasser gefüllten, stand, um die Temperatur des Wassers im innern Gefäfse auf jede verlangte Temperatur dadurch zu bringen, dafs man dem des äufseren entweder heifses Wasser oder Schnee zusetzte. Der Gewichtsverlust der Kugel, für die Ausdehnung des Glases corrigirt, gab dann die wechselnde Dichtigkeit des Wassers, worin sie hydrostatisch gewogen wurde, für die verschiedenen Temperaturen. Diese Wägungen wurden von 0°,8 bis 32°,5 ausgedehnt, und der Calcül ergab die Temperatur für den Punct der gröfsten Dichtigkeit = 4°,108 C. in der Art, dafs ein Werth = 3°,678 als kleinster und = 4°,583 aufser den Grenzen der Wahrscheinlichkeit liegt.

480) Als ein schätzbarer Nachtrag zu diesen Versuchen ist

1 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 601 ff.

2 Dissert. acad. de max. dens. aquae inven. Lund. 1819.

3 Nouveaux Mém. de l'Acad. de Berlin. 1784.

eine folgende Arbeit eben dieses gelehrten Physikers zu betrachten[1], wobei er sich der von RUMFORD und TRALLES angewandten Methode bediente. Er füllte ein Glasgefäfs von 4 schwedischen Decimalzollen Weite bis zu 8 Zoll Höhe mit Wasser, hing in der Axe desselben zwei feine und sorgfältig corrigirte Thermometer auf, das eine 1,5 Z. über dem Boden, das andere 2 Z. unter der Oberfläche, brachte das Gefäfs abwechselnd in ein warmes Zimmer und in die äufsere Kälte, und beobachtete den Stand der Thermometer während des langsamen Erwärmens und Erkaltens. Das obere Thermometer zeigte anfangs beim Erkalten eine höhere Temperatur, beim Erwärmen aber eine geringere, als das untere, jedoch nur bis zu einem gewissen Grade, worauf dann ein entgegengesetztes Verhalten eintrat; in beiden Fällen bewegte sich das untere langsamer, als das obere, und die Temperatur, wo ersteres von letzterem eingeholt wurde, ist als dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit des Wassers zugehörig zu betrachten. Mit Recht wird bemerkt, dafs TRALLES zu einem falschen Schlusse verleitet wurde, indem er diesen Punct bei 4°,35 C. setzte, weil beide Thermometer bei dieser Temperatur mehrere Tage unverändert standen, denn dieses war die Folge des Einflusses der dieser gleichen äufseren Wärme und würde bei 3°,35 gleichfalls statt gefunden haben. Der sichere Weg war daher, äufsere niedrigere und höhere Temperaturen zu wählen, wie durch HÄLLSTRÖM geschah, bei dessen Versuchen die höhere 20° C. betrug, die niedere zwischen — 4°,5 und + 3° C. lag. Wollte man noch sicherer verfahren und mögliche Fehler noch vollständiger vermeiden, so dürfte es rathsam seyn, die höhere Temperatur eben so weit über, als die niedere unter 4° C. zu wählen, da man diese als diejenige betrachten kann, welche im sehr genäherten Werthe dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit zugehört. Aus 14 Versuchsreihen, deren 7 den zunehmenden und 7 den abnehmenden Temperaturen zugehörten, ergab sich für die ersten der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei 4°,575 und für die letzten bei 3°,433, also im Mittel bei 4°,004. Nach der Berechnung der möglichen Fehler soll aber dieses Resultat weniger genau seyn, als das durch Wägungen erhaltene.

481) Um dieselbe Zeit wurde ich veranlafst, über die

---

1 Poggendorff's Ann. IX. 530.

Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten eine lange Reihe von Untersuchungen anzustellen, wobei mir zwei geübte Gehülfen, Dr. v. Köstioz und insbesondere Dr. Arseth, Letzterer auch bei den Berechnungen, sehr schätzbare thätige Hülfe leisteten [1]. Zu den Messungen dienten zwei Kugeln an genau calibrirten Thermometerröhren. Durch sehr mühselige, aber höchst sorgfältige Wägungen mit Quecksilber wurde die Ausdehnung des Glases für ungleiche Temperaturen und der Inhalt der Kugeln ermittelt, um die Werthe der willkürlichen Theile der Röhrchen, die durch die feinsten geätzten Linien auf ihnen bezeichnet waren, zu bestimmen. Damit die Ausdehnungen stärker wahrnehmbar würden, waren die Kugeln, vorzüglich die eine, im Verhältniſs zu den engen Röhren beträchtlich groſs; es muſste daher während der Versuche eine gewisse Menge der Flüssigkeit herausgetrieben und dann die Messung wieder fortgesetzt werden, wodurch jedoch der Genauigkeit der Resultate kein Abbruch geschah. Endlich ist noch zu bemerken, daſs die Thermometer genau geprüft waren; die Kugel des jedesmal angewandten wurde neben der des Meſsröhrchens in der Mitte eines Gefäſses mit Wasser oder für höhere Temperaturen mit vorher abgedampftem Olivenöl gehalten, während ein Gehülfe fortwährend diese Flüssigkeit mit einem Holzstäbchen umrührte; das sie enthaltende Gefäſs aber stand in einem gröſseren, mit Wasser gefüllten, oder über einer Weingeistlampe, und weil das Thermometer der gröſseren Kugel des Meſsröhrchens leicht vorauseilte, so wurde keine Beobachtung aufgezeichnet, bevor nicht der Thermometerstand mehrmals mit stets kleineren Unterschieden über und unter der bestimmten Temperatur geschwankt hatte und endlich mit dem Stande der Flüssigkeit im Röhrchen einige Zeit unverändert blieb [2]. Auf diese Weise wurden drei Reihen Beobachtungen vom Gefrierpuncte des Wassers an, wo-

---

1 Mém. prés. à l'Acad. Imp. des Sciences de St. Petersbourg par divers Savans. T. I. 1830. p. 249.

2 Diese Methode erfordert zwar viele Zeit, giebt aber sehr genaue Resultate. Es lassen sich die Ausdehnung der Flüssigkeit im Meſsröhrchen und die des Quecksilbers im Thermometer durch anhaltende Oscillationen einander so nahe bringen, daſs die geringsten Temperatur-Unterschiede bei beiden eine Veränderung nach der nämlichen Seite erzeugen, was evident die Gleichheit der Wärme beider darthut.

bei zugleich zur Controle des Thermometers schmelzender Schnee diente, bis zum Siedepuncte angestellt; in den beiden ersten wurden die beobachteten Gröfsen für die jedem Mefsröhrchen zugehörige Ausdehnung des Glases corrigirt, bei der dritten aber kam die Bd. I. S. 606 angegebene *Compensation* zur Anwendung[1]. Diese besteht einfach darin, dafs man so viel Quecksilber in die Kugel bringt, als erforderlich ist, um durch dessen Ausdehnung die des Glases aufzuheben. Heifst die zur Compensation erforderliche Menge Quecksilber y und der Coefficient seiner Ausdehnung k (nach Dulong und Petit $\frac{1}{5550}$ für 1° C.), der Coefficient der kubischen Ausdehnung des Glases aber k', so ist für die Temperatur = t die Ausdehnung des Quecksilbers = ykt, die des Glases aber, die Gröfse der Kugel nach ihrem Inhalte = v gesetzt, = vk't, und da beide gleich seyn sollen, erhält man $y = \frac{vk'}{k}$, wobei dann aber nicht zu übersehn ist, dafs die Quantität der in der Kugel befindlichen Flüssigkeit um so viel geringer wird, als die des aufgenommenen Quecksilbers beträgt. Diese Compensation ist sehr zu empfehlen; denn da die hiermit erhaltene Beobachtungsreihe mit zwei andern verglichen wurde, zeigte sie sich bei der Berechnung als hinlänglich genau, obgleich sie nur zur Prüfung der Zulassigkeit dieser Compensation angestellt wurde.

482) Es schien mir am angemessensten, das Mittel aus allen drei Beobachtungsreihen zu nehmen und hieraus die Curve der Ausdehnung des Wassers nach der von Thomas Young angegebenen Formel

$$\Delta v = at + bt^2 + ct^3 + dt^4$$

zu berechnen, die dann zugleich für $\frac{d.\Delta v}{dt} = 0$ das Minimum oder den Punct der gröfsten Dichtigkeit = 3°,78 gab. Inzwischen hatte sich die erwähnte Compensation der Ausdehnung des Glases durch Wärme so befriedigend gezeigt, dafs dieses den Wunsch erzeugte, vermittelst der Anwendung derselben den Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers direct und unmittelbar zu finden. Auf diese Weise wurden die in folgender Tabelle enthaltenen Werthe gefunden, wenn t die Temperaturgrade nach C., ϑ die Theilstriche des Mefsröhrchens

1 Sie ist dort nicht richtig angegeben und daher hier verbessert.

bezeichnet und das Volumen des Wassers aus dem Verhältnisse eines Theilstriches zur Gesammtmasse des Inhalts berechnet ist.

t	ϑ	Volumen	t	ϑ	Volumen
0°,00	38,0	1,0000000	2°,50	37,0	0,9999018
0,50	37,7	0,9999705	2,75	36,9	0,9998919
0,75	37,6	0,9999607	3,00	36,9	0,9998919
1,00	37,5	0,9999509	3,25	36,8	0,9998822
1,25	37,4	0,9999411	3,50	36,8	0,9998822
1,50	37,4	0,9999411	3,75	36,8	0,9998822
1,75	37,3	0,9999313	4,00	36,9	0,9998919
2,00	37,2	0,9999214	4,25	36,9	0,9998919
2,25	37,1	0,9999116			

Das hier erhaltene Resultat ist sehr merkwürdig, wenn man die Genauigkeit der Beobachtungen erwägt. Auf die wenigen Bestimmungen wurden sicher drei Stunden verwandt, die gröfstentheils den zwischen 3° und 4° liegenden gewidmet waren, weil wir nicht abliefsen, nach dem eigentlichen scharfen Puncte der gröfsten Dichtigkeit, wobei das Wasser im Röhrchen ohne Correction vom Herabsinken zum Aufsteigen übergehen mufste, zu suchen, bis unsere unerschöpfliche Geduld an der Unmöglichkeit einer schärferen Bestimmung scheiterte, denn das scharf unterscheidbare Ende des Wasserfadens im Mefsröhrchen stand unbeweglich still, sobald die Temperatur über 3° hinausgegangen war, bis sie 4° erreicht hatte, und so umgekehrt, wenn wir bei abnehmender Temperatur beobachteten. Das gebrauchte Thermometer von Greiner, dessen Scale nur bis 30° R. reicht und in 0°,2 R. getheilt ist, so dafs sich also 0°,1 R. oder 0°,125 C. sehr genau schätzen läfst, gestattete keinen diese Gröfse übersteigenden Fehler, die Theilstriche des Mefsröhrchens liefsen keinen parallaktischen Fehler zu, denn durch Umdrehung desselben um seine Axe bildete die feine Theilungslinie einen Kreis, unter oder über welchem das Ende des Wasserfadens sich scharf messen liefs, die Quecksilber-Compensation im Röhrchen war die nämliche, womit die ganze dritte Reihe von Beobachtungen gemacht wurde, und wäre sie daher so viel zu grofs oder zu klein gewesen, um einen im Bereiche dieser wenigen Grade mefsbaren Fehler zu erzeugen, so mufste dieser vielfach vergröfsert in der Nähe des Siedepunctes auffallend hervortreten, was aber nicht statt fand. Alles dieses als ge-

gründet vorausgesetzt führt zu dem Resultate, daſs dicht über 3° und unter 4° C. ein Stillstandspunct in der Ausdehnung des Wassers eintritt, wo dieselbe gänzlich fehlt, oder zu gering ist, als daſs sie durch einen, dem von uns gebrauchten an Feinheit gleichen Apparat wahrnehmbar seyn sollte. Uebrigens werden auch bei andern Erscheinungen solche Stillstandspuncte angetroffen, z. B. bei dem Erkalten der Metalllegirungen (§. 457), und es hat daher nichts Widersprechendes, einen solchen beim Uebergange von der Ausdehnung zur Zusammenziehung anzunehmen, mindestens kann ich selbst, da ich diesem so einfachen Versuche, der keine Täuschung zuläſst und in so enge Fehlergrenzen eingeschlossen ist, beigewohnt habe, an der Existenz eines solchen Stillstandspunctes nicht zweifeln. Eins darf ich jedoch hier nicht unbemerkt lassen, und zwar aus Gründen, die aus den später folgenden Untersuchungen von selbst hervorgehn. Das gebrauchte Thermometer, dessen Nullpunct ich so oft zu untersuchen veranlaſst wurde, hatte diesen bei — 0°,1 sehr genau; allein dieser Fehler ist nicht corrigirt worden, wie mir aus überwiegenden Gründen jetzt wahrscheinlich wird, und vermuthlich aus dem Grunde, weil uns nur daran gelegen war, in der Nähe von 4° den Punct des Minimums zu finden, und ich den Fehler bei der Vergleichung mit andern geprüften Thermometern nicht mehr wahrnahm, wenn die Temperatur bis über 3° C. gestiegen war. Bei nochmaliger Uebersicht der in der Tabelle mitgetheilten Werthe wird aber dieser Einfluſs sichtbar, denn nach der Vergleichung mit den andern gefundenen Gröſsen konnte der Wasserfaden im Meſsröhrchen durch die Temperaturzunahme von 0° bis 0°,5 C. nicht von 38 Theilstrichen zu 37,7 übergehn. Obgleich ich aber überzeugt bin, daſs dieser Fehler, sofern er aus der Zusammenziehung des Glases folgt, wenige Grade über dem Nullpuncte wieder verschwindet[1], so wird es mir doch mehr als wahrscheinlich, daſs er gerade bei diesen, von unten auf angestellten Messungen von Einfluſs war. Wenn wir demnach nicht annehmen wollen, daſs das Wasser genau beim Nullpuncte schon einer Ausdehnung entgegengeht, und daher den genannten Fehler als die Ursache des raschen Sprunges von 38 zu 37,7 erkennen, so würde dieser die ganze Reihe treffen, ungeachtet der groſsen Sorgfalt, die der scharfen

1 Vergl. *Thermometer* Bd. IX. S. 932. Anm.

Messung zwischen 3° und 4° gewidmet wurde. Hiernach würden daher die angegebenen Temperaturen um 0°,1 C. weiter rücken und der Stillstandspunct der Ausdehnung des Wassers begönne bei 3°,1 und endigte bei 4°,1. Gewifs ist einmal, dafs dieser sogenannte Stillstandspunct bei dem gebrauchten Thermometer, wie oft auch mit zunehmenden oder abnehmenden Temperaturen gemessen wurde, stets zwischen 3° und 4° so lag, wie die Tabelle dieses angiebt.

483) Unterdefs stellte auch Stampfer[1] eine Reihe von Beobachtungen an, wozu er sich der Methode der Abwägungen mit einem hohlen messingnen Cylinder bediente, damit derselbe leichter die Wärme des Wassers genau annehmen möchte, um hiernach seine eigene Ausdehnung zu corrigiren. Uebergehn wir die hiermit zugleich verbundene Bestimmung des absoluten Gewichtes eines bestimmten Volumens Wasser nach Wiener Mafs, und genügt im Allgemeinen die Bemerkung, dafs mit der für solche Messungen unerläfslichen Genauigkeit verfahren wurde, so wird blofs erfordert, die zunächst sich auf die Ausdehnung des Wassers bezüglichen Resultate mitzutheilen. Die Versuche gehören zu Temperaturen zwischen — 0°,4 und + 30°,2 R. und geben, die einzelnen Reihen für sich berechnet, für den Punct der gröfsten Dichtigkeit im Minimum 2°,922 und im Maximum 3°,61, im Mittel aber 3° R. oder 3°,75 C. mit einer wahrscheinlichen Unsicherheit von ± 0°,014 R. Für die Dichtigkeit D des Wassers bei verschiedenen Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale giebt Stampfer dann folgende Gleichung, die gröfste Dichtigkeit = 1 gesetzt:

$$D = 0{,}999887 + 0{,}000060932\,t - 0{,}0000084236\,t^2 + 0{,}000000058\,t^3 - 0{,}0000000001217\,t^4,$$

wonach eine Tabelle der Dichtigkeiten von — 3° C. bis + 40° C. berechnet worden ist. Eine Vergleichung mit früheren Resultaten ergiebt, dafs die durch Stampfer gefundenen Dichtigkeiten geringer sind, als alle übrigen, namentlich auch als die durch Hällström und mich selbst gefundenen. Für die Dichtigkeit beim Siedepuncte giebt die Formel 0,9575742, statt dafs ich 0,9587371 erhalten habe, wonach also auch bis zu diesem Puncte jene Werthe stets geringer bleiben.

---

1 Jahrbuch des k. k. polyt. Instituts. Th. XVI. S. 1. Poggendorff's Ann. XXI. 75.

484) Um das so vielseitig untersuchte Problem zur definitiven Lösung zu bringen, hat Hällström die bis dahin bekannten bedeutenden Versuche, insbesondere die meinigen, einer eingreifenden Kritik unterworfen, wofür ihm das wissenschaftliche Publicum großen Dank schuldig ist, insbesondere aber ich selbst, da die Ueberlegenheit dieses gelehrten Physikers offen anzuerkennen mir nur Vergnügen machen kann. Zuerst sucht Hällström den von ihm gefundenen Coefficienten für die Ausdehnung des Glases zu rechtfertigen, indem er zeigt, daſs seine Messungen der Ausdehnung des Wassers, wenn sie nach andern Bestimmungen für den Einfluſs des Glases corrigirt werden, den Punct der gröſsten Dichtigkeit offenbar zu niedrig geben. Dieses Argument dürfte von geringerem Gewichte seyn, als ein anderes, welches gleichfalls geltend gemacht wird, nämlich daſs das untersuchte Glas ein specielles von groſser Härte war. Anderweitige Untersuchungen zeigen aber, daſs die zusammengesetzten Körper von derjenigen Classe, wozu auch das Glas gehören mag, je nach ihrer Beschaffenheit sich sehr ungleich ausdehnen, wie aus der oben (§. 476) mitgetheilten Tabelle ersichtlich ist; auſserdem aber scheint das Glas in einer dem Gefrierpuncte des Wassers nahe liegenden Temperatur eigenthümlichen Gesetzen der Ausdehnung zu unterliegen, worauf die Verrückung des Gefrierpunctes der Thermometer beruhet. Wenn man auſserdem berücksichtigt, daſs Hällström's Messungen der Ausdehnung des Glases[1] nur zwischen 3° und 30° liegen, so dürfte dieses allerdings den dagegen erhobenen Zweifeln entgegenzustellen seyn. Hällström hat sich die Mühe genommen, seine Messungen der Ausdehnung des Wassers noch einmal, und zwar in der Art, daſs nicht das Endresultat, wie früher, sondern jede einzelne Messung für die Ausdehnung des Glases corrigirt ist, zu berechnen, und hieraus ergiebt sich dann der Punct der gröſsten Dichtigkeit bei $4^\circ{,}031$ mit einem möglichen Fehler von $\pm 0{,}134$.

Um in Beziehung auf die gegen meine Messungen und Berechnungen gemachten Einwendungen kurz zu seyn, wird Folgendes genügen. Zuerst habe ich die Gleichung für die Curve der Ausdehnung des Wassers nur bis zur vierten Decimalstelle berechnet, was offenbar nachtheilig ist, sobald es sich um

1 Poggendorff's Ann. I. 151.

eine so feine Bestimmung handelt, als die des Punctes der gröfsten Dichtigkeit. Hiervon überzeugte ich mich später, als ich diesen Punct für den absoluten Alkohol suchte und ihn durch eine solche Gleichung offenbar unrichtig fand, obgleich den Messungen die gröfste Aufmerksamkeit gewidmet war; sehr natürlich mufste daher eine bis zur dritten Potenz reichende Rechnung merklich abweichende Resultate geben, nicht zu gedenken, dafs eine weiter fortgesetzte Rechnung eine solche Masse von Zahlen erfordert, dafs mögliche Verwirrungen kaum zu vermeiden sind. Zweitens aber habe ich mich überzeugt, dafs die von Thomas Young vorgeschlagene und seitdem überall angewandte Formel, wonach

$$Vt = 1 + at + bt^2 + ct^3 + \ldots.$$

gesetzt wird, die eigentliche Ausdehnungscurve nicht absolut genau giebt, wenn die Exponenten nach der Reihe der ganzen Zahlen zunehmen. Einen überzeugenden Beweis hiervon liefern die Versuche mit Schwefelsäure, die gewifs zu den vorzüglichsten unter allen gehören, und dennoch war es unmöglich, die durch Berechnung erhaltenen Werthe mit den durch Beobachtung gefundenen bis auf mäfsige Differenzen in Einklang zu bringen. Je ausgedehnter daher die Reihe der Beobachtungen ist, desto geringer wird die erforderliche Uebereinstimmung. Der Werth der durch unglaubliche Mühe erhaltenen, in beiden Abhandlungen veröffentlichten, Untersuchungen liegt diesemnach hauptsächlich in den sehr genauen Messungen. Es war daher ein sehr glücklicher Gedanke und eine höchst verdienstliche Arbeit Hällström's, dafs er zur endlichen Erledigung des so langen ventilirten Problems jede der von mir gemachten Beobachtungsreihen einzeln nach der Methode der kleinsten Quadrate, jedoch nur von 0° bis 33° C., berechnete, um den Einflufs der höheren Grade auf die Bestimmung des Punctes der gröfsten Dichtigkeit auszuschliefsen. Auf diese Weise giebt die erste Versuchsreihe für den Punct der gröfsten Dichtigkeit

$$t' = 3°,879 \pm 0°,058 \text{ C.}$$

und die zweite

$$t' = 3°,972 \pm 0°,159,$$

die 3te weicht hiervon beträchtlich ab, indem sie $t = 3°,406 \pm 0°,206$ giebt. Hierunter ist die erste offenbar die zuverlässigste, weil

sie 33 Werthe für einzelne Grade enthält und die Versuche aufserdem mit dem gröfseren, durch B bezeichneten Mefsröhrchen angestellt wurden; die dritte Reihe dagegen ist in der Abhandlung selbst S. 40 als die mindest zuverlässige angegeben und sollte hauptsächlich dienen, die Anwendbarkeit der Compensation zu prüfen. Auch die durch STAMPFER gemachten Messungen sind durch HÄLLSTRÖM einer abermaligen Berechnung unterworfen morden und geben für den Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers:

$$t' = 3^\circ{,}755 \pm 0^\circ{,}073,$$

oder, wenn die über 25° C. liegenden Beobachtungen wegen eines in ihnen vorhandenen constanten Fehlers ausgeschlossen werden:

$$t' = 3^\circ{,}790 \pm 0^\circ{,}140 \text{ C.}$$

Hiernach wären also für die Lösung dieses Problems folgende Werthe vorhanden:

nach HÄLLSTRÖM	$t' = 4^\circ{,}03$	$\pm\ 0^\circ{,}135$	$\begin{cases} 4^\circ{,}165 \\ 3{,}897 \end{cases}$
— MUNCKE	$t' = 3^\circ{,}879$	$\pm\ 0{,}058$	$\begin{cases} 3{,}937 \\ 3{,}821 \end{cases}$
— MUNCKE	$t' = 3{,}972$	$\pm\ 0{,}159$	$\begin{cases} 4{,}131 \\ 3{,}813 \end{cases}$
— STAMPFER	$t' = 3{,}790$	$\pm\ 0{,}140$	$\begin{cases} 3{,}930 \\ 3{,}650. \end{cases}$

Diese Werthe stimmen so genau überein, als die Fehlergrenze gestattet, und geben im Mittel

$$t' = 3^\circ{,}92 \text{ C.}$$

Wenn man aber nach HÄLLSTRÖM den Mittelwerth mit Berücksichtigung des Gewichts eines jeden sucht, so findet man

$$t' = 3^\circ{,}90 \pm 0{,}04,$$

und dieses mufs für so genau gelten, als der gegenwärtige Zustand der Wissenschaft die Bestimmung gestattet[1].

---

1 Dieses Resultat, von einem so gelehrten Physiker durch den mühsamsten Calcül erhalten, kann nur vom höchsten Interesse seyn, denn es beweist die Genauigkeit der angestellten Versuche, und erweckt um so mehr das Vertrauen zu meinen übrigen, als gerade diese die ersten waren und also leicht die am wenigsten zuverlässigen

Zur Auffindung des Volumens und der Dichtigkeit des reinen Wassers für die Temperaturen von 0° bis 100° C. wählt Hällström auf gleiche Weise zweckmäſsig diejenigen Formeln, welche sich bei der Prüfung am geeignetsten zur Bestimmung der Temperatur der gröſsten Dichtigkeit erwiesen haben, nämlich die aus seinen eigenen Messungen, die beiden aus meinen zwei ersten Versuchsreihen und die aus Stampfer's Messungen erhaltene. Alle vier vereint geben im Mittel für die Temperaturen von 0° bis 30° C. den Ausdruck:

$$V = 1 - 0{,}000057577\,t + 0{,}0000075601\,t^2 - 0{,}000000035091\,t^3,$$

welcher den Punct der gröſsten Dichtigkeit bei 3°,92 giebt. Für die Temperaturen von 30° bis 100° findet er es am geeignetsten, die von mir in allen drei Versuchsreihen erhaltenen Werthe nach der von ihm verbesserten Berechnung zu vereinigen, woraus dann im Mittel erhalten wird:

$$V = 1 - 0{,}0000094178\,t + 0{,}00000533661\,t^2 - 0{,}0000000104086\,t^3.$$

Hieraus ist dann folgende Tabelle der Volumina und Dichtigkeiten des Wassers von 0° bis 100° C. entstanden.

t	Volum.	Dichtigkeit	t	Volum.	Dichtigkeit
0°	1,000000	1,000000	6°	0,999919	1,000081
1	0,999950	1,000050	7	0,999956	1,000044
2	0,999915	1,000080	8	0,999996	0,999994
3	0,999894	1,000106	9	1,000069	0,999931
3,9	0,999882	1,000118	10	1,000145	0,999855
4	0,999888	1,000112	11	1,000235	0,999765
5	0,999897	1,000103	12	1,000338	0,999662

seyn konnten. Die dritte Versuchsreihe wurde von mir selbst als minder zuverlässig angegeben; daſs ich sie dennoch mit den beiden übrigen vereinigte, war auf gleiche Weise ein Fehler, als die Berechnung bis zur vierten Decimalstelle. Nehmen wir das Resultat hinzu, welches durch unmittelbare Messung mit Anwendung der gewählten Compensation erhalten wurde, so stimmt dieses vollständig hiermit überein, denn es geht mit Berücksichtigung des wahrscheinlichen Fehlers daraus hervor, daſs das Wasser bei abnehmender Temperatur sich bis 4° C. zusammenzieht, unmittelbar unter diesem Puncte aber in diesem Zustande mit unmeſsbarer Veränderung beharrt, bis seine Ausdehnung wieder wahrnehmbar wird.

t	Volum.	Dichtigkeit	t	Volum.	Dichtigkeit
13°	1,000453	0,999547	57°	1,014891	0,985328
14	1,000581	0,999419	58	1,015392	0,984842
15	1,000720	0,999280	59	1,015894	0,984355
16	1,000872	0,999128	60	1,016398	0,983867
17	1,001035	0,998966	61	1,016930	0,983383
18	1,001210	0,998791	62	1,017464	0,982898
19	1,001397	0,998605	63	1,018000	0,982412
20	1,001594	0,998408	64	1,018538	0,981925
21	1,001802	0,998201	65	1,019078	0,981280
22	1,002022	0,997982	66	1,019644	0,980736
23	1,002251	0,997754	67	1,020212	0,980191
24	1,002491	0,997515	68	1,020780	0,979645
25	1,002741	0,997267	69	1,021350	0,979099
26	1,003001	0,997008	70	1,021920	0,978550
27	1,003271	0,996740	71	1,022531	0,977979
28	1,003549	0,996463	72	1,023143	0,977407
29	1,003837	0,996178	73	1,023756	0,976834
30	1,004216	0,995802	74	1,024370	0,976260
31	1,004523	0,995498	75	1,024986	0,975685
32	1,004831	0,995193	76	1,025603	0,975089
33	1,005140	0,994887	77	1,026221	0,974492
34	1,005449	0,994580	78	1,026840	0,973894
35	1,005761	0,994272	79	1,027459	0,973295
36	1,006106	0,993931	80	1,028072	0,972695
37	1,006452	0,993489	81	1,028728	0,972074
38	1,006799	0,993146	82	1,029385	0,971454
39	1,007147	0,992802	83	1,030043	0,970833
40	1,007496	0,992560	84	1,030702	0,970211
41	1,007898	0,992180	85	1,031364	0,969590
42	1,008207	0,991799	86	1,032047	0,968950
43	1,008610	0,991418	87	1,032731	0,968309
44	1,009021	0,991036	88	1,033416	0,967667
45	1,009434	0,990654	89	1,034102	0,967024
46	1,009859	0,990240	90	1,034791	0,966379
47	1,010285	0,989825	91	1,035500	0,965718
48	1,010712	0,989409	92	1,036210	0,965056
49	1,011139	0,988992	93	1,036921	0,964393
50	1,011570	0,988563	94	1,037633	0,963729
51	1,012033	0,988184	95	1,038346	0,963070
52	1,012497	0,987704	96	1,039078	0,962392
53	1,012962	0,987323	97	1,039811	0,961713
54	1,013438	0,986941	98	1,040545	0,961033
55	1,013894	0,986297	99	1,041280	0,960352
56	1,014382	0,985813	100	1,042016	0,959678

485) Eine werthvolle Untersuchung von Despretz[1] habe ich bisher nicht berücksichtigt, weil es unnöthige Mühe verursacht haben würde, die durch sie erhaltenen Resultate in die höchst vollendete Arbeit Hällström's aufzunehmen. Despretz wendet gegen meine Versuche ein, dafs zuerst die Lage des Nullpunctes der gebrauchten Thermometer nicht corrigirt worden sey, was aber schon deswegen unmöglich war, weil alle Versuche von diesem Puncte ausgingen, wodurch dieser Fehler von selbst auffallen und daher nothwendig corrigirt werden mufste. Zweitens erinnert er gegen die Ausdehnung des Glases, dafs sie zwar mit der von Lavoisier und Laplace, nicht aber mit der von Dulong und Petit gefundenen übereinstimme, obwohl man doch jetzt unfehlbar genauer experimentire, als im Jahre 1786. Dieses Argument dürfte aber schwerlich bei irgend einem Physiker Eingang finden; denn so achtungswerth auch der gelehrte Dulong seyn mag, so können doch jene Koryphäen der Wissenschaft unmöglich durch ihn so in Schatten gestellt werden, dafs ihre Autorität gänzlich verschwinden müfste. Aufserdem aber liegen die durch mich gefundenen Gröfsen nebst dem Verfahren, woraus sie sich ergaben, zur Beurtheilung vor und ihre Uebereinstimmung mit jenen kann ihnen doch unmöglich zum gegründeten Vorwurfe gereichen. Ein dritter Einwurf dagegen, dafs ich den Punct der gröfsten Dichtigkeit aus der Curve der Ausdehnung zwischen 0° bis 100° C. abgeleitet habe, ist allerdings begründet, und ich habe mich darüber bereits erklärt.

Despretz wählte zur ersten Reihe seiner Versuche das von mir angewandte Verfahren, indem er ein mit Wasser gefülltes Thermometer neben einem Quecksilberthermometer aufhing und den Stand beider von 2 zu 2 Minuten aufzeichnete. Ich gestehe, dafs ich nach meinen Erfahrungen mir nicht getrauen würde, wegen des in Folge der höchst verschiedenen Wärmecapacität beider Flüssigkeiten sehr ungleichen Ganges dieser zwei Instrumente, durch dieses Verfahren genügende Resultate zu erlangen, weswegen ich vielmehr beide Thermome-

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1 ff. L'Institut 5me Ann. N. 191. p. 80. Compt. rend. 1837. T. IV. p. 124 u. 435. London and Edinb. Phil. Mag. N. LXXI. p. 1 ff. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XLI. 58.

ter so lange um den Gleichheitspunct durch geringes Steigen und Fallen schwanken liefs, bis ich überzeugt war, diesen wirklich erreicht zu haben. Auffallend ist zugleich, dafs die Ausdehnung des Wassers bis — 9° C. im Versuche gemessen wurde, da sich zwar das Wasser so tief erkälten läfst, leicht aber bei der geringsten Bewegung gefriert und dann die Kugel zersprengen würde, deren Inhalt nicht ohne unsägliche Mühe bestimmbar ist. Inzwischen wurde auf diese Weise der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei 4°,007 C. gefunden. In einer zweiten Versuchsreihe wurde die von Rumford und Tralles befolgte Methode angewandt. Das Wasser befand sich in einem porzellanenen Gefäfse, an dessen beiden Seiten zwei Thermometer über einander hingen. Durch leises Aufschlagen sollte die Bewegung der Wassertheilchen erleichtert werden, ein Mittel, dessen Zulässigkeit sehr zu bezweifeln seyn dürfte, weswegen auch alle andere Beobachter jede Erschütterung vermieden haben. Indem dann das Gefäfs durch die äufsere Temperatur langsam erkaltete oder erwärmt wurde und demnach das dichtere Wasser herabsank, zeigte der Stand der Thermometer die Temperatur desselben im Puncte der gröfsten Dichtigkeit. Nach angebrachten Correctionen gaben die Versuche im Mittel hierfür die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit oder t = 3°,987 C. und also, wenn beide Resultate vereint werden, t = 3°,997, wofür in runder Zahl 4° genommen wird. Despretz untersuchte demnächst die Ausdehnung des Wassers für die Temperaturen von 4° C. bis 100°, und erhielt für den Siedepunct das Volumen = 1,04315, welche Gröfse von dem Mittel aus meinen drei Versuchsreihen = 1,04208 um 0,00107 und von dem durch Rechnung gefundenen = 1,04201 um 0,00114 abweicht.

Despretz[1] hat später nochmals die Temperatur des Wassers im Puncte der gröfsten Dichtigkeit durch mehrere Versuchsreihen auszumitteln gesucht und sich dabei abermals der mit Wasser gefüllten Thermometer bedient. Er benutzte deren zwei und erhielt mit dem ersten derselben in der ersten Versuchsreihe aus Messungen zwischen 7°,48 C. und 2°,17 im Mittel 3°,9923; in der zweiten aus Messungen zwischen 7°,18 und 2°,59 unmerklich abweichend 3°,9975; in der dritten,

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIII. p. 296. L'Institut 8me Ann. N. 318. p. 88.

welche Messungen zwischen 1° und 5° umfaſste, 4°,0064; in der vierten endlich, welche sich gleichfalls von 1° bis 5° erstreckte, 3°,9546. Mit einem zweiten Meſsröhrchen stellte er gleichfalls vier Versuchsreihen an, und fand durch die erste Versuchsreihe, welche zwischen 1° und 5° C. angestellt wurde, die Temperatur des Wassers bei gröſster Dichtigkeit = 3°,9918; durch die zweite, die sich von 2°,59 bis 7°,18 erstreckte, 4°,0208; durch die dritte, welche die Temperaturen von 2°,47 bis 7°,48 umfaſste, 4°,0728; durch die vierte endlich, wobei die Temperaturen zwischen 1°,41 und 7°,77 lagen, 4°,0231. Das Mittel aus allen 8 Versuchsreihen, wobei jedoch nicht alle gefundene Werthe genommen wurden, sondern im Ganzen nur die 11 vorzüglichsten, giebt die Temperatur des Wassers im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit = 4°,004 mit der gröſsten Abweichung von 0°,1182. Indem aber durch seine ersten, mit vier verschiedenen Meſsröhrchen angestellten Versuche im Mittel hierfür 3°,995 gefunden wurde, so glaubt er, man könne unbedenklich 4° in runder Zahl annehmen. Es ist zwar nicht wahrscheinlich, daſs die Temperatur des Wassers im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit mit einem ganzen Grade der hunderttheiligen oder irgend einer sonstigen Thermometerscale zusammenfallen sollte, und schon deswegen würde dem oben angegebenen Resultate der Vorzug gebühren, allein der Unterschied ist so unbedeutend, daſs man diese Bestimmung in runder Zahl auf jeden Fall als sehr nahe richtig betrachten und in Anwendung bringen darf. Endlich soll die Ausdehnung des Wassers unter dem Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit, diesen bei 4° C. angenommen, für gleiche Temperaturunterschiede etwas gröſser seyn, als über demselben, was allerdings mit den in der oben mitgetheilten Tabelle angegebenen Gröſsen übereinstimmt, indem das Volumen = 1 bei 0° C. nur 0,999996 bei 8° ist, da aber der Unterschied erst in die sechste Decimalstelle fällt, so entschwindet er der Messung.

Eine andere Reihe schätzbarer Versuche von Despretz, wodurch er gefunden hat, daſs der Punct der gröſsten Dichtigkeit des Wassers durch Zusatz von Salzen tiefer herabsinkt, wird zweckmäſsiger im folgenden Abschnitte erwähnt werden, da sie sich zugleich auf das Gefrieren bezieht.

β) Ausdehnung des Seewassers.

487) Zur Auffindung der Ausdehnungsgesetze des Seewassers habe ich gleichfalls eine Reihe von Beobachtungen angestellt[1], woraus hervorgeht, daſs die nicht sehr bedeutende Quantität der in dieser Flüssigkeit aufgelösten Salze die Ausdehnung desselben entweder gar nicht oder nur unmerklich abändert; denn es ist zwar das Volumen des Seewassers bei 100° C. = 1,044209 und die des reinen Wassers nur = 1,042085 nach meinen Beobachtungen, allein wenn man überlegt, daſs diese Gröſse erst von 4° an beginnt, jene aber bei 0° C., so ergiebt sich ein geringer Ueberschuſs der Ausdehnung des reinen Wassers, wonach also die Gröſse derselben durch die aufgelösten Salze um eine Kleinigkeit vermindert wird, übereinstimmend mit dem allgemeinen Gesetze, daſs die dichtesten Körper die geringste Ausdehnung haben. Die Untersuchungen über die Temperatur der gröſsten Dichtigkeit des Seewassers werden am zweckmäſsigsten mit denen über seinen Gefrierpunct vereinigt.

Es ist zwar weit minder wichtig, die Ausdehnungsgesetze für Seewasser, als für reines Wasser zu kennen; da ich sie aber durch Versuche ermittelt habe, so theile ich hier den aufgefundenen analytischen Ausdruck mit und eine abgekürzte Tabelle der hiernach berechneten Werthe, die von den durch Beobachtung erhaltenen nur unmerklich abweichen. Die Formel ist:

$$V = 1 + 0{,}00005769938\,t + 0{,}0000050963886\,t^2 - 0{,}000000018733\,t^3 + 0{,}00000000006178\,t^4.$$

Sie giebt folgende Gröſsen für Centesimalgrade:

---

1 Mém. prés. p. 62. Erman's Untersuchungen s. §. 497.

t	Volumen	Dichtigkeit	t	Volumen	Dichtigkeit
0	1,000000	1,000000	25	1,004359	0,995659
1	1,000063	0,999937	26	1,004644	0,995377
2	1,000136	0,999864	27	1,004937	0,995089
3	1,000218	0,999781	28	1,005238	0,994779
4	1,000311	0,999688	29	1,005546	0,994484
5	1,000414	0,999586	30	1,005861	0,994172
6	1,000526	0,999474	31	1,006185	0,993852
7	1,000647	0,999353	32	1,006516	0,993525
8	1,000778	0,999222	33	1,006854	0,993183
9	1,000919	0,999082	34	1,007199	0,992852
10	1,001068	0,998933	35	1,007552	0,992504
11	1,001227	0,998828	40	1,009421	0,990666
12	1,001395	0,998671	45	1,011463	0,988669
13	1,001572	0,998430	50	1,013670	0,986425
14	1,001757	0,998245	55	1,016038	0,984214
15	1,001952	0,998052	60	1,018563	0,981775
16	1,002155	0,997864	65	1,021241	0,979201
17	1,002367	0,997649	70	1,024069	0,976496
18	1,002587	0,997418	75	1,027046	0,973666
19	1,002816	0,997202	80	1,030172	0,970712
20	1,003053	0,996957	85	1,033446	0,967636
21	1,003298	0,996713	90	1,036871	0,964440
22	1,003551	0,996461	95	1,040447	0,961125
23	1,003812	0,996203	100	1,044178	0,957690
24	1,004082	0,995935			

Zum Behuf der Messungen der mit der Tiefe abnehmenden Temperatur des Meeres entschloſs sich Lenz[1] zu ähnlichen Versuchen über die Ausdehnung des Salzwassers von 1,02 und 1,03 specifischem Gewicht, zwischen denen das des Seewassers liegt, um zu der Ueberzeugung zu gelangen, daſs ein solcher Unterschied des specifischen Gewichts auf das Gesetz der Ausdehnung keinen bedeutenden Einfluſs habe. Die nachherigen sorgfältigen Versuche mit Salzwasser von 1,027 specifischem Gewichte umfassen nur die Temperaturen von 7°,5 bis 30° C.; hierzu nahm er die durch Erman gefundenen Werthe von 0° bis 8°,75, die er seinen eigenen Bestimmungen anpaſste, und erhielt dann nicht für die Vermehrung des Volumens, sondern

1 Mém. de l'Acad. de Petersb. VIme Sér. T. I. p. 251. Poggendorff's Ann. XX. 118. Vergl. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1673.

für die *Verminderung der Dichtigkeit* durch Temperaturzunahme folgende Formel:

$$\delta = 1 - 0{,}00020533\,t + 0{,}0000003723\,t^2 - 0{,}000000188086\,t^3$$

für Grade der achtzigtheiligen Scale, also für Centesimalgrade

$$\delta' = 1 - 0{,}000164265\,t + 0{,}000000238272\,t^2 - 0{,}0000000963\,t^3.$$

Lenz hat hiernach eine Tabelle für die Dichtigkeit des Salzwassers bei den Temperaturen von 0° bis 24° R. berechnet. Die hieraus erhaltenen Werthe stimmen in den unteren Graden sehr nahe mit den nach meiner Formel berechneten überein, die Unterschiede wachsen aber zunehmend und bleiben stets positiv, sofern die Dichtigkeit nach mir gröfser ist; sie betragen für 5° C. 0,000413; für 10° C. 0,000647; für 15° C. 0,000786; für 20° C. 0,000944; für 25° C. 0,001121; für 30° C. 0,001486 und für 100° C. 0,068033. Es folgt also hieraus, dafs eine der beiden Gleichungen mit einem constanten Fehler behaftet sey, und dieses dürfte nach Wahrscheinlichkeitsgründen die durch Lenz gefundene treffen; denn erstlich ist sie aus der Zusammensetzung zweier mit verschiedenen Flüssigkeiten und unter ungleichen Bedingungen angestellten Versuchsreihen entstanden, und zweitens würde nach ihr die Dichtigkeit des Salzwassers in der Siedehitze um 0,070022 geringer seyn, als die des reinen Wassers, was wohl nicht möglich ist, statt dafs sie nach meiner Formel nur 0,001988 kleiner ist, was daher rührt, dafs die Einheit des Wassers bei 3°,9 C., die des Seewassers aber bei 0° C. genommen ist. Für die praktische Anwendung übrigens, wenn man nicht über 30° hinausgeht, ist dieser Unterschied nicht eben bedeutend, denn er beträgt bei dieser Temperatur nicht mehr als nahe ein und ein halbes Tausendstel.

γ) Ausdehnung des Weingeistes.

488) Die im ersten Theile dieses Werkes angegebenen Untersuchungen über die Ausdehnung des Weingeistes habe ich seitdem durch zwei Versuchsreihen vermehrt, welche beide auf gleiche Weise, als die für Wasser, angestellt wurden. In der ersten war der Alkohol nicht absoluter, denn sein speci-

fisches Gewicht betrug 0,808 bei 12°,5 C. und würde also bei 20° C. nur 0,801 betragen, statt dafs Richter und Meissner dasselbe 0,792 und 0,791 fanden. Die Messungen wurden für jeden fünften Grad angestellt und gaben folgenden analytischen Ausdruck für das Volumen des Weingeistes für die verschiedenen Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale, das bei 0° als Einheit angenommen:

$$V = 1 + 0{,}000989666\,t + 0{,}00000303489\,t^2 - 0{,}0000000395924\,t^3 + 0{,}00000000036364\,t^4,$$

wonach die der gröfsten Dichtigkeit zugehörige Temperatur — 56°,5 C. beträgt.

Das Gesetz der Ausdehnung des Weingeistes genau zu kennen ist noch stets von grofser Wichtigkeit, weil diese Flüssigkeit fortwährend zu Thermometern genommen wird, womit man die Temperaturen unter dem Gefrierpuncte des Quecksilbers zu messen beabsichtigt, und ich habe daher in der mehrerwähnten Abhandlung ausführliche Untersuchungen über die Mittel angestellt, wodurch die Grade solcher Weingeistthermometer auf Grade des Luftthermometers reducirt werden können; allein es läfst sich keine absolute Genauigkeit hierin erlangen, weil man nie versichert ist, wie rein der von den Künstlern angewandte Alkohol gewesen seyn mag, obendrein wenn er mit einer färbenden Substanz verbunden ist; da aber sicher nicht selten solcher Alkohol, wie der untersuchte, zu Thermometern verwandt wird, so möge folgende Tabelle hier Platz finden, die rücksichtlich der Correctionen der Weingeistthermometer von Nutzen seyn kann, insbesondere sofern hierzu gewifs nur selten absoluter Alkohol genommen wird.

t	Volumen	Dichtigkeit	t	Volumen	Dichtigkeit
—50	0,965326	1,035920	2	1,001991	0,998013
—48	0,965797	1,035414	4	1,004005	0,996011
—46	0,966379	1,034790	6	1,006039	0,993997
—44	0,967065	1,034056	8	1,008093	0,991972
—42	0,967852	1,033215	10	1,010164	0,989938
—40	0,968734	1,032274	12	1,012252	0,987896
—38	0,969706	1,031240	14	1,014355	0,985848
—36	0,970763	1,030117	16	1,016473	0,983794
—34	0,971902	1,028910	18	1,018604	0,981735
—32	0,973117	1,027625	20	1,020749	0,979673
—30	0,974405	1,026267	22	1,022905	0,977608
—28	0,975761	1,024841	24	1,025073	0,975540
—26	0,977182	1,023550	26	1,027253	0,973470
—24	0,978664	1,021801	28	1,029444	0,971398
—22	0,980203	1,020104	30	1,031647	0,969324
—20	0,981795	1,018541	32	1,033861	0,967248
—18	0,983438	1,016840	34	1,036087	0,965170
—16	0,985128	1,015096	36	1,038325	0,963090
—14	0,986862	1,013313	38	1,040575	0,961007
—12	0,988637	1,011494	40	1,042839	0,958920
—10	0,990450	1,009642	42	1,045118	0,956830
— 8	0,992299	1,007761	44	1,047411	0,954735
— 6	0,994180	1,005854	46	1,049721	0,952634
— 4	0,996092	1,003923	48	1,052048	0,950527
— 2	0,998033	1,001971	50	1,054394	0,948412

Ungleich wichtiger ist es, das Gesetz der Ausdehnung des *absoluten Alkohols* zu kennen, und ich habe daher auch hierüber Versuche angestellt[1]. Der dazu verwandte Alkohol war durch L. Gmelin absichtlich für diesen Zweck bereitet und hatte bei 0° C. ein specifisches Gewicht = 0,8062 gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit, wonach dasselbe bei 20° C. = 0,791108, übereinstimmend mit andern Angaben, seyn würde. Zu den Versuchen wurden die vorher wiederholt gebrauchten Apparate verwandt, und wir glaubten bereits eine bedeutende Fertigkeit in diesen Operationen erlangt zu haben, allein dennoch deuteten die Unterschiede zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen auf unerwar-

1 Sur la dilatation de l'alcool absolu et de la carbure de soufre; in Mém. de la Soc. Imp. des Sc. de Petersb. 1834.

tete Fehler, von denen sich aber annehmen läfst, dafs sie durch die in grofser Zahl vorhandenen Beobachtungen ausgemerzt werden, da die positiven und negativen Unterschiede sich völlig aufheben. Dreifsig solche, als zuverlässig zu betrachtende, zwischen $-15°$ und $+65°$ gefundene Werthe, deren einige doppelt waren und wegen geringer Verschiedenheit das arithmetische Mittel zu nehmen gestatteten, geben folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}0010151148\,t + 0{,}0000030884\,t^2 - 0{,}0000000192458\,t^3,$$

wonach die dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit zugehörige Temperatur sehr nahe $-89°{,}5$ C. beträgt. Die Formel weicht von der für nicht absoluten Alkohol gefundenen nur wenig ab, und es wird dadurch wahrscheinlich, dafs beide das Gesetz der Ausdehnung dieser Flüssigkeit sehr genau ausdrücken. Aus dieser Ursache, und da man insbesondere neuerdings die tiefsten Grade der Kälte mit Thermometern gemessen hat, die wohl ohne Zweifel mit absolutem Alkohol gefüllt waren, theile ich nachfolgend eine ausführliche Tabelle der Volumina mit, durch welche die Dichtigkeiten leicht gefunden werden, wenn man diese Werthe in die Einheit dividirt.

t	Volumen	t	Volumen	t	Volumen
—100	0,948618	— 64	0,952728	— 29	0,973628
— 98	0,948293	— 62	0,953521	— 28	0,974421
— 96	0,948039	— 60	0,954368	— 27	0,975222
— 94	0,947854	— 58	0,955267	— 26	0,976033
— 92	0,947736	— 56	0,956218	— 25	0,976853
— 90	0,947686	— 54	0,957220	— 24	0,977682
— 88	0,947702	— 52	0,958271	— 23	0,978520
— 86	0,947783	— 50	0,959371	— 22	0,979367
— 84	0,947929	— 48	0,960518	— 21	0,980223
— 82	0,948138	— 46	0,961713	— 20	0,981087
— 80	0,948411	— 44	0,962953	— 19	0,981960
— 78	0,948744	— 42	0,964239	— 18	0,982841
— 76	0,949138	— 40	0,965568	— 17	0,983730
— 74	0,949592	— 38	0,966941	— 16	0,984628
— 72	0,950105	— 36	0,968356	— 15	0,985533
— 70	0,950676	— 34	0,969813	— 14	0,986446
— 68	0,951304	— 32	0,971309	— 13	0,987368
— 66	0,951988	— 30	0,972846	— 12	0,988297

t	Volumen	t	Volumen	t	Volumen
— 11	0,989233	10	1,010441	31	1,033863
— 10	0,990177	11	1,011514	32	1,035016
— 9	0,991128	12	1,012593	33	1,036170
— 8	0,992086	13	1,013676	34	1,037328
— 7	0,993052	14	1,014641	35	1,038487
— 6	0,994025	15	1,015857	36	1,039649
— 5	0,995004	16	1,016954	38	1,041978
— 4	0,995990	17	1,018055	40	1,044314
— 3	0,996983	18	1,019160	42	1,046657
— 2	0,997982	19	1,020270	44	1,049005
— 1	0,998988	20	1,021384	46	1,051357
0	1,000000	21	1,022501	48	1,053713
+ 1	1,001018	22	1,023622	50	1,056071
2	1,002042	23	1,024747	52	1,058431
3	1,003073	24	1,025876	54	1,060791
4	1,004109	25	1,027007	56	1,063152
5	1,005150	26	1,028142	58	1,065511
6	1,006198	27	1,029281	60	1,067868
7	1,007250	28	1,030422	62	1,070222
8	1,008309	29	1,031566	64	1,072572
9	1,009372	30	1,032713	66	1,074917

Die Vergleichung beider Tabellen führt zu dem Resultate, dafs die Gröfse der Ausdehnung des absoluten Alkohols am gröfsten ist und um so mehr abnimmt, je mehr er mit Wasser vermischt wird. Für 50° C. z. B. ist das Volumen des absoluten Alkohols = 1,056071, des nicht ganz reinen = 1,054394 und des Wassers = 1,011570.

δ) Ausdehnung sonstiger Flüssigkeiten.

489) Bei den sonstigen Flüssigkeiten ist es minder wichtig, das Gesetz ihrer Ausdehnung zu kennen, und es wird daher genügen, hierüber die Resultate der Untersuchungen nur kurz mitzutheilen, welche auf jeden Fall hinreichen, um die den verschiedenen Temperaturen zugehörenden Volumina mit der nöthigen Genauigkeit zu bestimmen. Nach meinen erwähnten Versuchen[1] ist der analytische Ausdruck für die Aus-

1 Ueber die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten. In Mém. prés. à l'Acad. Imp. de Petersb.

dehnung des *Schwefeläthers* von 0,733 specifischem Gewicht bei 12°,5 C.

$$V = 1 + 0{,}00150268\,t + 0{,}00000255214\,t^2 - 0{,}00000015783\,t^3 + 0{,}000000004166\,t^4,$$

wonach die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit = — 36° ist[1]. Der blofse Anblick dieser Formel zeigt, dafs der Schwefeläther sich stärker ausdehnt, als selbst absoluter Alkohol, noch mehr aber als nicht ganz reiner. Die Ausdehnung des *Steinöls* (*petroleum rectificatum*) ist geringer, als die des Weingeistes, zugleich auch sehr regelmäfsig fortschreitend, und da diese Flüssigkeit so schwer gefriert, aufserdem aber weit leichter rein zu erhalten ist, so eignet sie sich vorzugsweise zu Thermometern für bedeutende Kältegrade. Meine Versuche geben die Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}000988558\,t + 0{,}00000212046\,t^2 - 0{,}00000002676399\,t^3 + 0{,}0000000001950677\,t^4,$$

und die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit = — 71° C. Auch das *liquide Ammoniak* vom specifischen Gewicht = 0,9465 bei 12°,5 C. wurde von mir untersucht, allein es ist schwer, das Gesetz seiner Ausdehnung mit gehöriger Schärfe zu finden, da die Quantität des durch das Wasser gebundenen Gases variirt und ein Theil desselben ohnehin bei steigender Wärme entweicht, weswegen die Messungen nicht weiter, als bis 45° C. fortgesetzt werden konnten. Inzwischen kann folgende Formel als hinlänglich genau gelten, wonach

$$V = 1 + 0{,}000285586\,t + 0{,}0000026002\,t^2 + 0{,}0000000641634\,t^3 - 0{,}000000001046984\,t^4$$

ist und die Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. Die von uns untersuchte *Salzsäure* zeigte bei 12°,5 C. ein specifisches Gewicht = 1,1978, und die für ihre Ausdehnung gefundene Formel ist:

$$V = 1 + 0{,}000566237\,t - 0{,}000000829489\,t^2 + 0{,}0000000370847\,t^3 - 0{,}000000000472156\,t^4.$$

---

1 Das hier angegebene Resultat stimmt mit dem sehr tief liegenden Gefrierpuncte dieser Flüssigkeit §. 513 nicht überein. Dieses ist eine Folge davon, dafs die Formel bis zur vierten Potenz ausgedehnt ist, was namentlich die Bestimmung der Temperatur, die der gröfsten Dichtigkeit zugehört, unrichtig machen kann, wenn auch übrigens die berechneten Werthe den beobachteten sehr nahe kommen.

Auch diese Flüssigkeit hat, wie die vorige, keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit. Die Versuche mit *Salpetersäure* vom specifischen Gewicht = 1,4405 bei 12°,5 C. gaben mindestens sehr annähernd folgende Formel:

$$V = 1 + 0,0010661285\,t - 0,000001646108\,t^2 + 0,00000004489136\,t^3 - 0,000000000198241\,t^4,$$

aus welcher sich ergiebt, dafs diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. PARRY[1] fand beiläufig bei seinen Versuchen über das Gefrieren der tropfbaren Flüssigkeiten, die er auf der Insel Melville anstellte, dafs concentrirte Salpetersäure sich ungefähr ebenso stark, als Quecksilber ausdehnt, was jedoch, wenn es nicht die Regelmäfsigkeit, sondern die Gröfse der Ausdehnung bezeichnen soll, mit meinen Versuchen nicht übereinstimmt.

Auf die Versuche mit *concentrirter Schwefelsäure* vom specifischen Gewichte 1,836 bei 12°,5 C. wurde bei weitem die gröfste Sorgfalt verwandt, weil ich an ihr das Gesetz der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten in sehr hohen Temperaturen kennen zu lernen wünschte. Die Ausdehnung derselben zeigte sich sehr regelmäfsig, denn die Grade des Quecksilberthermometers und die des gebrauchten Mefsröhrchens behielten stets fast genau das nämliche Verhältnifs bei; dennoch aber zeigten die berechneten Werthe, mit den beobachteten verglichen, sehr grofse Unterschiede, und der Gefrierpunct dieser Säure müfste nach der Formel unter — 103° C. liegen, was gegen die Erfahrung streitet. Dieses Resultat ging hervor, als 37 Beobachtungen von 5° bis 230° des auf das Luftthermometer reducirten Quecksilberthermometers in Rechnung genommen wurden, welche folgende Gleichung gaben:

$$V = 1 + 0,000551615580\,t + 0,00000083851987\,t^2 - 0,0000000008171231\,t^3 + 0,0000000000002521671\,t^4,$$

wodurch die Volumina mindestens sehr annähernd gefunden werden. Wegen der offenbar unrichtigen Temperatur des Punctes der gröfsten Dichtigkeit, wie sie durch diese Formel gegeben wird, schien es zweckmäfsig, nur die 20 Beobachtungen zwischen 5° und 100° C. in Rechnung zu nehmen, wodurch folgende Gleichung erhalten wurde:

---

1 Appendix to Capt. PARRY's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 260.

$$V = 1 + 0{,}0005279835\,t + 0{,}00000287180238\,t^2 - 0{,}0000000512240355\,t^3 + 0{,}00000000028324437\,t^4.$$

Nach dieser liegt der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei — 39°,2 C., was mit der Erfahrung THOMSON's, welcher den Gefrierpunct dieser Säure von 1,845 specifischem Gewichte bei — 38° C. fand, nahe genug übereinstimmt, allein die nach dieser Formel berechneten Werthe geben mit den durch Beobachtung gefundenen in den höheren Temperaturen so grofse Differenzen, dafs man die Volumina und Dichtigkeiten dieser Flüssigkeiten nur durch die erste Formel mit genügender Sicherheit erhalten kann. Da aber die Messungen von vorzüglicher Genauigkeit sind, so dürfte es am angemessensten seyn, diese selbst hier aufzunehmen, weil sich aus ihnen vielleicht durch angemessene Berechnung das Gesetz der Ausdehnung dieser Flüssigkeit von so hoch liegendem Siedepuncte finden und hiervon auch auf andere ähnliche schliefsen läfst.

t	Volumen	t	Volumen
— 30	0,98186246	80	1,04600880
— 25	0,98516516	85	1,04902662
— 20	0,98848626	90	1,05299768
— 15	0,99135488	95	1,05493247
— 10	0,99411959	100	1,05784948
— 5	0,99707687	105	1,06088253
0	1,00000000	110	1,06382362
+ 5	1,00281920	115	1,06665415
10	1,00567401	120	1,06918854
15	1,00842485	125	1,07215480
20	1,01128109	130	1,07510567
25	1,01408098	135	1,07825436
30	1,01726337	140	1,08055395
35	1,02007594	150	1,08727138
40	1,02319476	160	1,09397396
45	1,02611664	170	1,10018821
50	1,02902129	180	1,10655921
55	1,03181878	190	1,11288223
60	1,03465295	200	1,11928862
65	1,03743377	210	1,12591285
70	1,04019751	220	1,13224644
75	1,04312375	230	1,13885767

490) An die bereits erwähnten Untersuchungen über die Gesetze der Ausdehnung der Oele[1] lassen sich die Resultate eigener Versuche anknüpfen. Hierzu wurde *Mandelöl* genommen, wie man dasselbe aus guten Officinen käuflich erhält. Aus 24 Messungen zwischen 5° und 120° C. ergab sich folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}0007445475\,t + 0{,}0000003134379\,t^2 + 0{,}000000002750899\,t^3 - 0{,}000000000015975079\,t^4,$$

aus welcher hervorgeht, dafs diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat, sondern sich selbst auch beim Gestehn fortwährend zusammenzieht, wie schon DE LUC für Olivenöl, übereinstimmend mit der Erfahrung, gefunden hat. Auch ERMAN[2] wurde bei seinen (§. 474) erwähnten Experimenten veranlafst, die Ausdehnung des Olivenöls zu untersuchen, um darin die Wägungen der leichtflüssigen Metallmischung vorzunehmen. Die Gleichung, welche er ohne Correction für die Ausdehnung des Glases erhielt, ist folgende:

$$V = 1 + 0{,}00089015776\,t + 0{,}0000004450113\,t^2 + 0{,}000000000931780\,t^3.$$

Diese vergleicht er mit derjenigen, welche PAUCKER[3] aus den Messungen von DE LUC gefunden hat, nämlich

$$V = 1 + 0{,}00089178169\,t + 0{,}0000004864638\,t^2 - 0{,}00000000008499\,t^3,$$

beide für Grade der achtzigtheiligen Scale. Die nahe Uebereinstimmung ist zwar nicht zu verkennen, allein es ist auffallend, dafs jene erste Gleichung lauter positive Coefficienten hat, was bei keiner der sonstigen, bisher aufgefundenen statt findet[4]; auch scheint es mir in der Natur der Sache zu liegen, dafs eins der Glieder verneinend seyn müsse, weil sonst das Volumen der Flüssigkeiten in höheren Temperaturen allzusehr wächst.

---

1 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 624.

2 Poggendorff's Ann. IX. 559 und die oben angez. Dissert.

3 Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme auf physikal. Beobachtungen u. s. w. Mitau 1819.

4 Die Ausdehnung der gesättigten Salzsoole wird zwar nach Bd. I. S. 625 gleichfalls durch eine Gleichung ausgedrückt, welche 3 bejahende Coefficienten hat, allein ich glaube nicht, dafs jene ältere Arbeit von DE LUC nach dem Vielen, was neuerdings in dieser Beziehung geschehn ist, grofses Vertrauen verdient.

Durch die Correction für die Ausdehnung des Glases nach den Messungen von Dulong und Petit wird dann die Gleichung für die Ausdehnung des Olivenöls für t Grade nach R.

$$V = 1 + 0{,}00092015776\,t + 0{,}0000005004504\,t^2 + 0{,}000000000970708\,t^3$$

und für die Centesimalscale

$$V = 1 + 0{,}0007361262\,t + 0{,}0000003202882\,t^2 + 0{,}0000000004970025\,t^3.$$

Vergleicht man diesen Ausdruck mit dem durch mich für Mandelöl gefundenen, so kommen beide darin überein, dafs es für diese Flüssigkeit keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit giebt, was mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt, wonach alle Fette, so wie auch Wachs, sich beim Erkalten und selbst nach dem Gestehen zusammenziehn, ohne dafs hierbei ein Stillstandspunct ihrer Zusammenziehung oder gar eine zwischentretende Ausdehnung statt zu finden scheint. Uebrigens aber ist nach dieser Formel die Ausdehnung des Oels, welches durch Erman zu seinen Versuchen genommen wurde, ungleich gröfser, als die des Mandelöls nach meinen Messungen, und sogar gröfser, als die des Schwefelkohlenstoffs, welcher sich bekanntlich sehr stark ausdehnt, des Steinöls und selbst des absoluten Alkohols, kleiner jedoch, als die des Schwefeläthers. Auch bei meinen Versuchen, wenn die Erwärmung des Mefsröhrchens in Olivenöl geschah, habe ich die starke Ausdehnung dieser Flüssigkeit beiläufig wahrgenommen, ob aber ein so bedeutender Unterschied zwischen Mandelöl und gewöhnlichem Oele wirklich statt findet, als aus meiner und Erman's Formel hervorgeht, mufs ich dahin gestellt seyn lassen.

Auch die Ausdehnung des *Schwefelkohlenstoffs* ist von mir auf die angezeigte Weise untersucht worden. Aus 32 Messungen, worunter 4 doppelt waren, und aus denen daher wegen äufserst geringer Abweichung von einander das arithmetische Mittel genommen wurde, ergab sich folgende Gleichung:

$$V = 1 + 0{,}001125690639\,t + 0{,}000001715049\,t^2 - 0{,}00000000121166\,t^3,$$

nach welcher diese Flüssigkeit gleichfalls keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit hat. Da sich dieselbe aber wegen ihrer regelmäfsigen Ausdehnung, und weil sie nicht so, wie der Weingeist, leicht Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt, mithin

leichter als letzterer im Zustande der Reinheit aufbewahrt werden kann, vorzugsweise zu Thermometern eignet, so stelle ich die mit den Versuchen sehr genau übereinstimmenden Volumina derselben, wie sie die Berechnung giebt, in folgender Tabelle zusammen.

t	Volumen	t	Volumen	t	Volumen
— 50	0,947852	— 10	0,988913	32	1,037818
— 48	0,949783	— 8	0,991104	34	1,040304
— 46	0,951729	— 6	0,993307	36	1,042804
— 44	0,953687	— 4	0,995525	38	1,045319
— 42	0,955656	— 2	0,997755	40	1,047849
— 40	0,957639	+ 2	1,002258	42	1,050394
— 38	0,959634	4	1,004530	44	1,052954
— 36	0,961641	6	1,006816	46	1,055529
— 34	0,963661	8	1,009116	48	1,058119
— 32	0,965694	10	1,011430	50	1,060724
— 30	0,967740	12	1,013757	52	1,063344
— 28	0,969799	14	1,016099	54	1,065979
— 26	0,971870	16	1,018455	56	1,068630
— 24	0,973954	18	1,020825	58	1,071296
— 22	0,976052	20	1,023209	60	1,073977
— 20	0,978162	22	1,025608	62	1,076674
— 18	0,980286	24	1,028021	64	1,079387
— 16	0,982423	26	1,030449	66	1,082115
— 14	0,984573	28	1,032890	68	1,084858
— 12	0,986736	30	1,035347	70	1,087618

491) Neuerdings hat DESPRETZ[1] die bisherigen Erfahrungen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten durch eine interessante Thatsache vermehrt. Es ist allgemein angenommen und hiermit stimmen alle hier mitgetheilte Formeln überein[2], dafs die Ausdehnung der tropfbar-flüssigen und festen

1 L'Institut. 6me Ann. N. 246. Compt. rend. T. VII. p. 589. Poggendorff's Ann. XLVI. 134.

2 Nach FRANKENHEIM in Berl. Jahrbücher für wissenschaftl. Kritik soll die allgemeine Formel für die Ausdehnung der Flüssigkeiten folgende seyn: Log. $\frac{y}{\beta} = A\,(p - \alpha)^2$, worin β die Ausdehnung im Minimum, α die zugehörige Temperatur, y die Ausdehnung bei der Temperatur p, A eine Constante aus Versuchen bezeichnen. Ferner ist $p = 722$ Log. $(1 - h\,x)$, worin x die Temperatur in Centesimalgraden und $h = 0{,}00375$ sind. Die Formel soll entstanden seyn aus Log. $\frac{y}{\beta} = a^2\left(r^{\alpha - p} - r^{p - \alpha}\right)^2$, worin a und r vom logarith-

Körper durch eine Curve ausgedrückt wird, welche ihre Convexität gegen die Axe der Temperaturen wendet (eine gegen die Axe der Abscissen convexe Parabel höherer Ordnung), statt daſs eine gerade Linie das Gesetz der Ausdehnung gasförmiger Körper darstellt. Das abnorme Verhalten des Schwefels gegen die Wirkungen der Wärme (§. 509) veranlaſste ihn aber, die Ausdehnung desselben gerade in denjenigen Temperaturen zu prüfen, in denen dieses ungewöhnliche Verhalten eintritt. Er bediente sich hierzu solcher Apparate, womit er die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten untersucht hatte (§. 485), und fand auf diese Weise, daſs der Schwefel im flüssigen Zustande sich abnehmend ausdehnt. Die Coefficienten seiner wahren Ausdehnung sind:

von	110°	bis	130°	C.	. . . .	0,000622
—	110	—	150	—	. . . .	0,000582
—	110	—	200	—	. . . .	0,000454
—	110	—	250	—	. . . .	0,000428.

Es ist dieses allerdings sehr auffallend; wenn aber den Formeln für die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten volles Vertrauen gebührt, so findet eben dieses Verhalten auch bei andern statt. Wenn man nämlich in die Differentialgleichung zur Auffindung des kleinsten Volumens oder der gröſsten Dichtigkeit:

$$\frac{\partial.(V-1)}{\partial t} = a + b.2t + c.3t + .. = 0$$

statt der negativen Werthe für t vielmehr positive setzt, so geben die Wurzeln das Maximum des Volumens, also den Punct der geringsten Dichtigkeit, von wo an die Ausdehnungscurve sich der Axe der Abscissen wieder zu nähern beginnt. Beispielsweise führe ich nur das Mandelöl an, welches nach meinen Versuchen[1] diesen Punct bei + 296 des Luftthermometers hat. Dieses Resultat ist weniger auffallend; denn da das Oel nicht eigentlich siedet, bei etwa 300° C. aber eine

---

mischen Systeme, von der Thermometerscale und von der Natur der Flüssigkeit abhängig seyn sollen. Ich finde indeſs nicht, daſs irgendwo Anwendung von diesem analytischen Ausdrucke gemacht worden ist, auch läſst sich ohne nähere Bestimmung und Anwendung auf Gröſsen, die durch Erfahrung gefunden worden sind, nicht wohl ein Urtheil darüber fällen.

1 Ueber die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten.

Zersetzung erleidet, so stimmt dieses insofern mit der Theorie überein, als man sagen kann, das Gesetz der regelmäſsigen Ausdehnung dieser Flüssigkeit hört mit dem Beginnen seiner Zersetzung auf. Verfährt man auf gleiche Weise mit der für die Ausdehnung des liquiden Ammoniaks gefundenen Formel, so findet man das Maximum seines Volumens einer Temperatur $t = 74°,75$ zugehörend, und von hier an würde die Curve seiner Ausdehnung sich der Abscissenaxe wieder nähern. Es lieſsen sich hieraus allerdings interessante Folgerungen ableiten, allein, wie bereits (§. 483) bemerkt wurde, es scheint der analytische Ausdruck, welcher das Gesetz der Ausdehnung darstellt, nicht in der Art absolut genau zu seyn, daſs man ihn willkürlich auf alle höhere und tiefere Temperaturen ausdehnen könnte.

c) Ausdehnung der gasförmigen Flüssigkeiten.

492) Nicht leicht galt im Gebiete der Physik irgend eine Bestimmung für so genau und sicher, als die der Ausdehnung der Gasarten und Dämpfe, wie diese durch Gay-Lussac gefunden worden ist[1]. Seit der Bekanntwerdung des durch diesen Gelehrten erhaltenen Coefficienten = 0,00375 für 1° C. hat Niemand Zweifel dagegen erhoben, auſser die von mir selbst geäuſserten, aus meinen eigenen Versuchen über die Dichtigkeit der Dämpfe beiläufig entnommenen, wonach dieser Coefficient für feuchte Luft gilt, für trockne aber kleiner seyn muſs[2]. Können gleich meine, nicht absichtlich diesem Probleme gewidmeten Versuche auf eine zur Entscheidung dieses streitigen Punctes erforderliche Genauigkeit keine Ansprüche machen, und mag es immerhin gegründet seyn, daſs die Ausdehnung aller gasförmigen Körper dieselbe ist, so folgt doch daraus keineswegs, daſs ein Gemenge aus Luft und Dampf gleichfalls genau eine ihrer Gröſse nach ganz gleiche Ausdehnung zeigen muſs, als welche jeder einzelnen derselben eigen ist; dieser Satz beruht allein auf Gay-Lussac's Versuchen, die allerdings noch einer Controle bedurften, wie sich sogleich zeigen wird.

---

1 Vergl. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 625 ff.
2 Physikalische Abhandlungen. Gieſs. 1816. S. 146.

Bei der Wichtigkeit des bisher üblichen Coefficienten für die Ausdehnung der Gase = 0,00375, welcher in zahllosen Fällen in Anwendung kommt, war es ein sehr verdienstliches Unternehmen, dafs Rudberg[1] denselben einer Prüfung unterwarf, weil einige von ihm angestellte Versuche Abweichungen zeigten, die auf einen Fehler in dieser Bestimmung deuteten. Für seine Messungen wählte er die Methode, die vorher ausgetrocknete atmosphärische Luft zu erhitzen, dann zu erkälten und die dadurch bewirkte Zusammenziehung zu messen. Dieses geschah mittelst Glaskugeln ab, welche gegen 150 Gramm Quecksilber fafsten und mit einem dünnen, feinen, in eine sehr enge Spitze ausgezogenen Röhrchen versehn waren. Dieses Röhrchen ging luftdicht durch den Kork D in die mit Chlorcalcium gefüllte Röhre DE, und um die Luft gehörig auszutrocknen, wurde die Kugel 50- bis 60mal mittelst einer Weingeistlampe erhitzt und demnächst erkältet oder das Ende E der Röhre wurde mittelst eines bleiernen Verbindungsstückes durch die Luftpumpe wiederholt exantlirt. War die Luft gehörig getrocknet und die Röhre DE mit einem Korke bei E verschlossen, worin ein kleines Loch zum freien Durchgange der Luft diente, so wurde der Apparat mittelst des aus zwei Theilen bestehenden Korkes mn in das Heizgefäfs AB gebracht. Nachdem das in diesem enthaltene Wasser etwa drei Viertelstunden anhaltend gesiedet hatte, ward die Röhre DE weggenommen, das Sieden noch etwa 10 Minuten fortgesetzt und die feine Spitze zugeblasen. Alsdann folgte die Wägung des Mefsröhrchens auf einer Waage, die noch 0,1 Milligr. mit Sicherheit angab. Zur demnächst folgenden Messung diente ein zweiter Apparat. Das Röhrchen ward durch die Oeffnung b in der metallenen Schale abc gesteckt, die auf dem beweglichen Arme DC ruhte, vermittelst dessen die Spitze tief in das Quecksilber des Gefäfses EFHG hinabkam. Die Schale abc diente dazu, die Kugel allseitig mit Schnee zu umgeben, indem das geschmolzene Wasser durch die Röhre ablief. Nachdem durch Hinzubringen von frischem Schnee während zwei Stunden und darüber die Kugel sicher bis auf 0° herabgebracht worden war, damit das Quecksilber nach vorher abgebrochener Spitze vollständig in den Apparat eindringen konnte, wurde die Spitze durch eine

Fig. 73. Fig. 74.

1 Poggendorff's Ann. XLI. 271.

weiche Masse aus Wachs und Terpentin verschlossen, der Barometerstand notirt, der Schnee weggenommen, und zur Bestimmung des Höhenunterschiedes der Quecksilber-Niveaus im Gefäſse und in der Kugel geschritten. Durch die Schraube NP lieſs sich die Hülse tm und der an ihrem Arme befestige Ring gh so herabbringen, daſs letzterer über die Kugel herabgesenkt das Niveau des Quecksilbers in dieser genau angab, die Spitze der Schraube K aber das Quecksilber in der Wanne berührte; nach Wegnahme des Meſsapparates gaben zwei parallele Lineale den Abstand zwischen der Spitze und der unteren Fläche des Ringes, und somit den Unterschied der Dichtigkeit der äuſseren und der in der Kugel befindlichen Luft an. Alsdann wurde das wenige Wachs von der Spitze weggenommen, die Kugel mit dem Quecksilber gewogen und das Ende des Röhrchens etwas gebogen, um es in Quecksilber zu tauchen und die Kugel gänzlich damit zu füllen. War dieses endlich durch Auskochen von aller Luft befreit und der Apparat durch Einsenken in schmelzendem Schnee völlig mit Quecksilber bei 0° Temperatur gefüllt, so nahm man die Kugel weg und fing das auslaufende Quecksilber auf, während die Kugel abermals im Erwärmungsapparate die Siedehitze annahm, und auf diese Weise lieſs sich aus dem Gewichte des ausgelaufenen und des in der Kugel zurückgebliebenen Quecksilbers sowohl der Inhalt der Kugel als auch die Ausdehnung der Luft und die bereits (§. 473) angegebene des Glases finden.

493) Nimmt man die Sache allgemein, also auch so, daſs die Kugel nicht bis 0° durch Eis erkältet, sondern in einem ähnlich eingerichteten Gefäſse im Wasser bis zu einer bestimmten niedrigen Temperatur abgekühlt wird, wie durch Rudberg in drei Versuchen wirklich geschah, so führen folgende Betrachtungen zur Auffindung der gesuchten Ausdehnung des Gases. Es sey der Inhalt der Kugel $= V$; die nach dem Barometerstande corrigirte Temperatur des siedendheiſsen Wasserdampfes $= T$; der Barometerstand $= H'$, die wahre Ausdehnung der Luft für 1° C. $= \alpha$; die des Glases $= \delta$; das Gewicht der Volumen-Einheit der trocknen Luft bei 0° Temperatur und 0,76 Meter Barometerstand $= a$, so ist das Gewicht der in der Kugel beim Zublasen der Spitze enthaltenen Luft

$$q = a \, . \, V \, . \, \frac{H'}{0{,}76} \, . \, \frac{1 + \delta T}{1 + \alpha T}.$$

Ist die Temperatur der Luft in der Kugel nach der Abkühlung, wenn die Spitze abgebrochen ist, $= t$, der Barometerstand beim Verschliefsen der Spitze mit Wachs $= H''$, der Höhenunterschied beider Quecksilber-Niveaus $= h$, das Volumen der abgekühlten Luft $= v$, so ist bei unveränderter Masse der Luft:

$$q = a v \frac{H'' - h}{0{,}76} \cdot \frac{1 + \delta t}{1 + \alpha t}$$

und beide Werthe von q einander gleich gesetzt:

$$\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} = \frac{V}{v} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot \frac{1 + \delta T}{1 + \delta t}.$$

mithin wenn man das, was rechts vom Gleichheitszeichen steht, durch n bezeichnet, die wahre Ausdehnung der Luft für 1° C.

$$\alpha = \frac{n - 1}{T - n t}.$$

Wird die Kugel durch Schnee abgekühlt, so ist einfacher

$$n = \frac{V}{v} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot (1 + \delta T)$$

und folglich

$$\alpha = \frac{n - 1}{T}.$$

In dieser Formel mufs V und v bestimmt werden, da die übrigen Gröfsen bekannt sind. Im zuletzt angenommenen Falle, wenn $t = 0$ ist, sey das Gewicht des die Kugel bei 0° C. füllenden Quecksilbers $= P$ und das Gewicht des beim Erkalten der Kugel bis 0° in sie gedrungenen Quecksilbers $= p$, so ist

$$\frac{V}{v} = \frac{P}{P - p},$$

also $$n = \frac{P}{P - p} \cdot \frac{H'}{H'' - h} \cdot (1 + \delta T).$$

Hierbei wird δ, der Coefficient der Ausdehnung des Glases, als bekannt vorausgesetzt oder vorher ermittelt, wie durch Rudberg (§. 473) geschah. Ist t nicht $= 0$, so müssen die Werthe von P und p auf diese Temperatur reducirt werden; doch giebt dieses minder sichere Resultate, weil es kaum möglich ist, die Temperatur des abkühlenden Wassers eine hinlänglich lange Zeit gleichbleibend zu erhalten. Die drei ersten Versuche, welche auf diese letztere Weise angestellt wurden, gaben im Mittel 0,3623 für die Ausdehnung der Luft zwischen 0° und 100° C., neun andere aber mit Anwendung

des ersteren Verfahrens gaben im Mittel 0,3646, wobei die Extreme 0,3636 und 0,3654 betrugen. In diesen Versuchen waren die Barometerstände, also auch die Temperaturen der Siedehitze und die Höhen der Quecksilbersäulen in den Röhrchen der Kugeln sehr ungleich, und da dennoch die einzelnen Werthe so wenig von einander abweichen, so entscheidet dieses bestimmt für die Genauigkeit der Resultate, die auch, wie ausführlich gezeigt wird, nicht mit bedeutenden Fehlern behaftet seyn können. Zwei absichtlich mit feuchter Luft angestellte Versuche, wobei jedoch kein tropfbares Wasser sichtbar war, gaben den Coefficienten der Ausdehnung = 0,3840 und 0,3902, wodurch höchst wahrscheinlich wird, daſs die von anderen Physikern und auch von Gay-Lussac und Dalton gefundenen fehlerhaften Resultate von der Anwesenheit des Wasserdampfes herrührten, wie ich selbst gleich bei ihrer Bekanntwerdung äuſserte.

Rudberg[1] hat später noch einen eigenen Apparat construirt, mittelst dessen die Ausdehnung der Luft durch die Zunahme ihrer Elasticität gemessen wird; mir scheint jedoch diese Methode minder sicher und mit gröſseren Schwierigkeiten verbunden zu seyn, als die beschriebene, denn sie erfordert eine Correction wegen der Capillarität eines dabei angebrachten engen Verbindungs-Röhrchens, die Röhre, welche die Elasticität der eingeschlossenen Luft durch eine aufsteigende Quecksilbersäule miſst, ist oben offen und gestattet daher der feuchten Luft den Zutritt zur Oberfläche dieser Quecksilbersäule, wodurch die Capillarität dieser Röhre Veränderungen unterliegt, und endlich läſst sich der, die zu messende Luft einschlieſsende, Cylinder minder leicht bis 0° C. erkälten und bis zur Siedehitze des Wassers erwärmen. Bei der Gewissenhaftigkeit und experimentellen Fertigkeit des der Wissenschaft leider zu früh entrissenen schwedischen Physikers läſst sich aber voraussetzen, daſs er auch bei der Anwendung dieses zweiten Apparates durch Vermeidung möglicher Fehler richtige Resultate erlangt habe, und da er vermittelst desselben abermals durch zwölf Versuche den Coefficienten der Ausdehnung trockner Luft = 0,36457 im Mittel erhielt, wobei die Extreme der einzelnen Resultate 0,3640 und 0,3664 betragen, so muſs in Zukunft der *Coefficient der*

1 Poggendorff's Ann. XLIV. 119.

Ausdehnung trockner Luft = 0,3646 oder kürzer = 0,365 für den Temperaturunterschied zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers angenommen werden, statt dafs hierfür bisher die Bestimmung GAY-LUSSAC's = 0,375 als richtig galt. Die so lange Zeit gangbaren Bestimmungen 0,00375 und $\frac{1}{266,67}$ verwandeln sich diesemnach für die Zukunft in 0,003646 oder 0,00365 und $\frac{1}{273,97}$ oder $\frac{1}{274,27\ldots}$. Am angemessensten dürfte es seyn, 0,00365 und $\frac{1}{274}$ zu wählen.

494) Zu diesem höchst wichtigen Nachtrage der Untersuchungen über die Ausdehnung gasförmiger Körper lassen sich noch einige minder umfangreiche hinzufügen. Dahin gehört hauptsächlich eine Messung PARRY's [1], welcher die Ausdehnung der Luft zwischen 12°,78 C. und − 37° C. für 1° C. = 0,003629 fand. Da hierbei die Correction für die Ausdehnung des Glases nicht erwähnt ist, so läfst sich diese in genähertem Werthe hinzufügen, und es beträgt dann diese Gröfse 0,003632, also wird für einen Temperaturunterschied von 0° bis 100° C. der Coefficient der Ausdehnung trockner Luft = 0,3632, welche Bestimmung von der durch RUDBERG gefundenen um einen Unterschied abweicht, welcher innerhalb der Fehlergrenze solcher Versuche liegt [2]. Auf jeden Fall dient auch dieses Resultat zur Bestätigung des durch RUDBERG gefundenen Coefficienten und streitet gegen die Richtigkeit des früher durch GAY-LUSSAC erhaltenen.

Schliefslich möge hier noch bemerkt werden, dafs nach allen bisher bekannt gewordenen genauen Versuchen die Ausdehnungslinie der atmosphärischen Luft eine gerade ist, d. h. dafs der Coefficient der Volumensvermehrung für alle richtige Grade des Thermometers unverändert bleibt. Einen thatsächlichen Beweis hierfür liefert PARRY's Messung bei sehr niedri-

---

1 Appendix to Capt. PARRY's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 246.

2 Wenn man berücksichtigt, dafs der Weingeist sich in niederen Graden weniger zusammenzieht, so bedürfen die mit einem Weingeistthermometer gemessenen Grade einer Correction, wodurch der erhaltene Coefficient etwas gröfser und also dem durch RUDBERG gefundenen noch ähnlicher werden würde.

gen Thermometergraden. Inzwischen
den Calcül zu beweisen, dafs für eine
Thermometergrade die Ausdehnung de
bilde. Wir verweisen in dieser Bezieh
mitgetheilten Untersuchungen.

2) Schmelzen und G

495) Das Schmelzen oder die Sc
werden (*Fusio;* Fusion, Fonte; *Meltin*
dem Gefrieren, der Gefrierung (*Congela*
zing, *Congelation*) entgegen, streng wi
wenn von den Wirkungen der Wärme
Schmelzen die Rede seyn, denn dieses
bewirkt, statt dafs durch deren Entzie
Gefrieren eintritt. Dabei pflegt man, o
Feststellung der Wortbedeutung, sich
oder *Festwerden* bei solchen Körpern
dem Schmelzpuncte des Eises flüssig
Gefrieren aber bei solchen zu gebrauc
diesem Puncte in den Zustand der Fes
Wesen nach findet hierbei kein Unters
mein verändert die Zunahme der Wär
aller festen Körper so, dafs sie in den
keit übergehen, was man sich auch so v
den die starren Körper im Wärmestof
lichste Hypothese zur Vorstellung dies
wonach die Anziehung der Körper-Mo
sion der sie umgebenden Wärmesphä
überwunden wird, dafs jene ohne m
Lage gegen einander annehmen und si
wegen. Sofern aber diese Wirkung a
gen Kräften beruht, deren stabiles Gl

---

1 Philos. Mag. and Ann. T. XI. p. 24

2 Rob. Boyle leitete schon das Schm
statt dafs Gassendi und Andere eine Kältem
aber dasselbe als eine durch das Eindringe
Elementes erzeugte Bewegung betrachtete.
IV. prop. 48 und Meteor. C. 1. §. 7. Muss
das Gefrieren für eine Folge des Eindring
S. Introd. §. 1504.

gatzustand der Körper bedingt, müsste eigentlich jener Uebergang von der Starrheit zur Flüssigkeit und dann weiter zur Gasform allgemein bei allen Körpern statt finden, allein es giebt deren viele, namentlich unter den nach feineren und mannigfach modificirten Anziehungsgesetzen gebildeten organischen Substanzen, welche den einen dieser Zustände überspringen und durch den Einfluſs der Wärme unmittelbar aus der Starrheit zur Gasform durch Zersetztwerden übergehn. Darf ferner aus anderweitigen Erscheinungen geschlossen werden, daſs die Molecüle der Körper wesentlich, und auch in Beziehung auf jene ihnen inwohnenden Kräfte, verschieden sind, so müssen auch ungleiche Wärmemengen einen Uebergang derselben von der Starrheit zum Zustand der Flüssigkeit und Gasform zu erzeugen vermögen, ohne daſs wir jedoch wegen Mangels einer genaueren Kenntniſs der eigentlichen Beschaffenheit dieser Molecüle die leichtere oder schwerere Schmelzbarkeit der aus ihnen gebildeten Körper theoretisch zu bestimmen vermögen. Gehen wir aber weiter von den einfachen Körpern zu den zusammengesetzten über, so zeigen sich sofort so verwickelte Erscheinungen rücksichtlich ihres Ueberganges aus dem einen Zustande in den andern, daſs bei ihrer Betrachtung jede Hoffnung schwindet, die hierbei wirksamen Gesetze auf die eigenthümliche Beschaffenheit der Molecüle zurückzuführen. Ueberhaupt ist die Menge und Mannigfaltigkeit der Phänomene, die sich in dieser Beziehung der Beobachtung darbieten, so ausnehmend groſs, daſs es vor der Hand am angemessensten erscheinen muſs, die Thatsachen im Einzelnen genau zu erforschen, das Gemeinsame derselben zusammenzufassen und die Auffindung allgemein gültiger Gesetze der Zukunft zu überlassen. Zwei Dinge verdienen hierbei vorzugsweise beachtet zu werden; zuerst der groſse Unterschied des leichteren und schwereren Ueberganges aus der Starrheit zur Flüssigkeit, wonach man *leichtflüssige* und *strengflüssige* Körper unterscheidet, indem einige stets flüssig bleiben oder nur durch kaum erreichbare Entziehung der Wärme gefrieren, andere bis jetzt durch die stärkste Hitze nicht in Fluſs gebracht wurden, und zweitens das sehr ungleiche Verhalten, welches sich bei diesem Uebergange zeigt, indem einige in merklicher Stufenfolge erst weich und dann flüssig werden, andere plötzlich von dem einen Zustande in den andern übergehn, einige

hierbei eine Vermehrung, andere eine Verminderung ihres Volumens zeigen, anderweitiger Verschiedenheiten nicht zu gedenken. Im Allgemeinen ist übrigens noch zu berücksichtigen, wenn es sich um den Gefrierpunct und den *Schmelzpunct* handelt, das heifst, um die scharfe Bestimmung derjenigen Temperatur, bei welcher der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand erfolgt oder umgekehrt, dafs beide zwar der Natur der Sache nach zusammenfallen müfsten, der Erfahrung gemäfs aber meistens dieses nicht zu thun scheinen. Allerdings giebt es verschiedene Körper, welche durch Wärme weicher und zunehmend weicher werden, so dafs sie, dem Zustande der Starrheit nicht gemäfs, sich biegen, kneten und formen lassen, mithin aus dem festen in einen weichen, halbflüssigen und endlich eigentlich flüssigen Zustand übergehen, wie dieses namentlich bei den Fetten, dem Wachse, den Harzen und andern, aber auch beim Eisen und Platin der Fall ist, welche sich daher in diesem Zustande der Weichheit auch vereinigen, die Metalle sich schweifsen lassen; Zinn wird vor dem Schmelzen brüchig und locker, und so giebt es noch sonstige einzelne Modificationen. Handelt es sich aber um die Erfahrung, wonach der Gefrierpunct und der Schmelzpunct solcher Körper, wobei die genannten Erscheinungen fehlen, nicht genau zusammenfallen, ja nicht selten scheinbar um viele Grade von einander abstehn, so liegt die Ursache hiervon in dem Umstande, dafs bei dieser Formänderung allezeit Wärme latent oder frei wird, welche sich nur schwer trennt oder auch langsam und allmälig aufgenommen wird. Hierauf beruhet die Stillstandsperiode der Erkaltung oder Erwärmung, welche wohl ohne Ausnahme, wenn gleich mehr oder minder auffallend, beim Uebergange aus dem einen in den andern dieser Zustände eintritt (§. 497). Am auffallendsten zeigt sich dieses bei dem bekannten Verhalten des Wassers, welches sich bis tief unter seinen Gefrierpunct erkälten läfst, dann durch Bewegung sogleich zum Theil gefriert und bis 0° steigt. Despretz[1] bemerkt daher mit Recht, dafs man den Gefrierpunct eines Körpers eigentlich in diejenige Temperatur setzen müsse, bei welcher die bewegte Flüssigkeit zu gestehn beginnt und bei welcher sie dann beharret, bis sie gänzlich fest geworden ist. Die dann gefundene

1 Poggendorff's Ann. XLI. 493.

Temperatur ist zugleich auch die des Schmelzens. Salzlösungen und überhaupt solche Verbindungen, bei denen eine Trennung der schwerer gestehenden Antheile von den leichter gefrierenden statt findet, wie dieses namentlich bei Auflösungen im Wasser, aber auch bei Metalllegirungen der Fall ist, machen hiervon eine Ausnahme, was Despretz nicht gehörig gewürdigt zu haben scheint; denn wenn bei Salzsolutionen die Ausscheidung eines gesättigten Antheils durch Bewegung gehindert wird, so kann das Gefrieren weniger leicht erfolgen; auch erzählt Scoresby, daſs die Oberfläche des Meeres vor der Bildung einer dünnen Eisdecke, die durch nachfolgende Bewegung sofort in kleine Stückchen zerbrochen wird, momentan als ganz ruhig erscheine. Sehr richtig aber bemerkt Despretz[1], daſs eine gelinde Bewegung die Theilchen leichter in diejenige Lage bringt, worin sie die stärkste Attraction ausüben, und daher das Gefrieren sowohl des reinen, als auch des salzhaltigen Wassers mehr befördert, als eine heftige, die es sogar zu hindern vermag. Sind die Flüssigkeiten in enge Röhren eingeschlossen, so geht ihr Gefrierpunct weit tiefer herab, als wenn sie sich in weiteren Gefäſsen befinden, nach begonnenem Erstarren tritt aber sofort der eigentliche Gefrierpunct ein, das heiſst, die Flüssigkeit nimmt die diesem zugehörige Temperatur an.

496) Das *Eis* zeigt bei seinem Uebergange in den tropfbar-flüssigen Zustand und umgekehrt bei der Verwandlung des Wassers in diesen festen Körper so ziemlich alle die merkwürdigen Erscheinungen, die in Beziehung auf das Schmelzen und Gefrieren Beachtung verdienen, und hat daher stets die Aufmerksamkeit der Physiker vorzüglich in Anspruch genommen. Dahin gehört vorzugsweise die Ausdehnung des Wassers vor seinem Festwerden, die Entbindung der latenten Wärme bei dieser Verwandlung in einen festen Körper, die Ausdehnung des festen Eises bei seinem Entstehn und sein krystallinisches Gefüge. Weil aber dem Eise bereits ein eigener Artikel gewidmet worden ist[2], so können hier nur einige seitdem hinzugekommene neue Thatsachen aufgenommen werden. Diese beziehn sich zuerst auf den Punct der gröſsten Dichtigkeit des erkaltenden Wassers,

---

1 L'Institut. 5me Ann. N. 218. p. 288.

2 S. *Eis*. Bd. III. S. 99.

welcher nach den genauesten Unters
3°,9 C. liegt. Inwiefern das Wasser
Zusatz von Salzen verliert, hatte man
bei Seewasser untersucht. Nach der
der Ausdehnung dieser Flüssigkeit erha
gröfste Dichtigkeit bei — 5°,25 C. ei
einer Angabe von PARROT[2] übereinsti
stallisation des Seewassers genau bei d
Inzwischen ist bereits sehr ausführlic
Gefrierens des *Seewassers* gehandelt
daher hier nur einiger weniger Bemerk

Insbesondere verdienen die von
Untersuchungen über das Gefrieren und
Dichtigkeit der Salzlösungen hier erw
einem Mittel aus 12 Versuchen gefro
specif. Gewicht bei — 2°,55 C. und
dabei auf — 1°,84, das Maximum der
— 3°,67 C. ein und soll von MARCET[5] u
gefunden worden seyn, weil sie dasselb
suchten. Diese Angabe wird auf keine
als wenn man annimmt, dafs das Seew
bis unter — 3°,67 erkälten läfst und
nimmt, bewegt aber schon bei — 2°,5
Maximum der Dichtigkeit ganz eigen
puncte, so müfste das eben entstanden
das Wasser, was gegen alle Erfahrung

497) ERMAN's[6] Untersuchungen,
bene Aeufserung bezieht, sind diejenige
Wunsch A. v. HUMBOLDT's anstellt
Wichtigkeit ist, darüber Gewifsheit z
wasser auf gleiche Weise ein Maxim
sofern verschiedene sicher begründete
vereinbar seyn würden. Man darf, u

1 Mém. prés. à l'Acad. Imp. des Sc.
2 Physikalische Beob. des Captain Li
Berl. 1827. S. 32.
3 S. Art. *Eis* Bd. III. S. 140 und *Me*
4 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1
5 Dessen Versuche s. Bd. VI. S. 169
6 Poggendorff's Ann. XII. 436.

zeugen, unter andern nur einen Blick auf die Tabelle[1] der Temperaturen des Meeres in verschiedenen Tiefen wenden, um sich zu überzeugen, dafs diese nicht so seyn könnten, wie sie gefunden wurden, wenn nicht das mit abnehmender Temperatur zunehmend dichter werdende Wasser stets tiefer hinabsänke. Erman wählte zur Lösung dieses wichtigen Problems die verschiedensten bisher angewandten Methoden, und zwar zuerst die der hydrostatischen Wägungen, wozu ihm eine massive Glaskugel an einer empfindlichen Wage diente. Aus 21 Bestimmungen ergiebt sich, dafs Salzwasser von 1,0270 spec. Gewichte, also dem Seewasser im Mittel gleich, sich von — 3°,87 C. bis 10°,725 durch Temperaturvermehrung fortwährend ausdehnt. Will man die Erkältung bis zu dieser tiefen Temperatur treiben, so mufs das Wasser ganz ruhig bleiben, denn von —2°,875 C. an werden die Eisnadeln an den Seitenwandungen der Gefäfse gebildet, es wird hierbei Salz ausgeschieden, ohne dafs jedoch ein Maximum der Dichtigkeit zum Vorschein kommt. Wägungen mit einem Nicholson'schen Aräometer innerhalb —1°,25 und + 15° C. gaben ganz gleiche Resultate. Bei der Anwendung der Hope'schen Methode zeigte das untere Thermometer fortdauernd tiefere Grade als das obere, statt dafs bei süfsem Wasser das Gegentheil eintrat. Endlich wandte er eine für diesen Zweck noch nicht benutzte Methode an, welche darin besteht, die Zeiten des Erkaltens zu beobachten, weil bei einem Wechselpuncte der Dichtigkeiten nach den Beobachtungen Rudberg's (§. 457) ein Stillstand oder eine Verzögerung des Erkaltens eintreten mufs. Wirklich zeigte sich dieses auch beim süfsen Wasser sehr auffallend, indem das Herabsinken von 6°,25 C. bis 5° nur 40,8 Sec., von 3°,75 bis 2°,5 aber 17 Sec. und von 2°,5 bis 1°,25 wieder 30 Sec., von 5° bis 3°,75 dagegen 208,2 Sec. erforderte. Salzwasser von 1,027 spec. Gewicht zeigte aber einen solchen Stillstand selbst bis — 5° C. herab nicht. Interessante Resultate gab die Anwendung dieser Methode auf minder gehaltreiche Salzlösungen. Bei einer solchen von 1,02 spec. Gewichte ging die Erkaltung regelmäfsig fort bis —1°,5 C., dann aber trat ein lange dauernder Stillstand ein, wobei sich am Boden des Gefäfses Eis bildete, wonach also der dem Maximum der Dichtigkeit zugehörige Stillstand

1 S. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1676.

mit dem durch die Eisbildung erzeugten zusammenfällt. Auch diese Solution hat daher kein über —1°,25 C. liegendes Maximum der Dichtigkeit, vielmehr fällt dasselbe mit dem Gefrierpuncte zusammen. Bei einer Solution von 1,01 spec. Gewicht dagegen blieb das Thermometer lange stationär bei 1°,875 C., fiel dann bis — 2°,5, die Eisbildung begann und das Thermometer stieg wieder bis —0,625, welches für den Gefrierpunct dieser Lösung gelten kann. Hieraus folgt daher, dafs Salzwasser von 1,027 spec. Gewicht kein Maximum der Dichtigkeit hat, denn selbst beim Gefrieren eines Theiles wird Salz ausgeschieden, und das Maximum sinkt tiefer herab, sofern die Zusammenziehung der Flüssigkeit stets zunimmt. Bei Salzwasser von 1,02 spec. Gewicht findet gleichfalls kein Maximum der Dichtigkeit statt oder es fällt mit dem Gefrierpuncte bei —1°,5 C. zusammen, bei Salzwasser von 1,01 spec. Gewicht dagegen liegt dieses Maximum ungefähr bei 1,875 C.

Bewogen durch die angegebene Aeufserung von Despretz revidirte Erman[1] seine früheren Versuche, ohne jedoch einen Fehler in den angestellten Berechnungen zu entdecken. Aufserdem aber stellte er mit einem dem früheren ähnlichen Aräometer abermals eine Versuchsreihe an, die er jedoch nur von — 1°,475 bis 23°,44 ausdehnte und mit den Wägungen in destillirtem Wasser von 0° bis fast 28° C. verglich. Bei letzterem zeigte sich deutlich das Maximum der Dichtigkeit, bei der Salzsolution von 1,027 spec. Gewicht war keine Andeutung davon zu entdecken. Dieses zeigte schon die blofse Uebersicht der gemessenen Gröfsen; es ging aber noch augenfälliger aus der alle Bedingungen und Correctionen einschliefsenden Berechnung hervor, denn die Differentialgleichung für das Maximum der Dichtigkeit nach den beobachteten Werthen gab nur imaginäre Werthe, was auf das Fehlen eines solchen Maximums deutet[2]. Erman vermuthet daher mit Recht, dafs

1 Poggendorff's Ann. XLI. 72.

2 Nach der aus meinen Versuchen §. 487 gefundenen Formel hat das Seewasser allerdings einen Punct der gröfsten Dichtigkeit, was aus theoretischen Gründen mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat, sofern die wesentlichen Eigenschaften des Wassers durch aufgelöste Salze nicht geändert werden. Wenn aber die Temperatur dieses Maximums der Dichtigkeit unter dem Gefrierpuncte zu liegen scheint, so ist zwar die erhaltene Bestimmung aus angegebenen Gründen nicht

Despretz durch die beginnende Eisbildung im Salzwasser getäuscht worden sey und ein Gemenge aus Eis und flüssiger Kochsalzlösung specifisch leichter gefunden habe, als die Flüssigkeit, aus welcher dieses entstanden war.

498) Wenn gleich die durch Despretz erhaltenen Resultate über die Anwesenheit eines Maximums der Dichtigkeit bei Salzsolutionen und über ihren Gefrierpunct etwas verdächtig werden, sofern man wohl als erwiesen annehmen kann, dafs er die anfängliche Entstehung des Eises, zwischen dessen Theilchen eine concentrirtere Lösung zurückblieb, übersehen habe, was nicht blos Erman's eben mitgetheilte Erläuterungen, sondern auch Parrot's frühere Versuche[1] genügend darthun, so verdienen dennoch die Ergebnisse seiner zahlreichen Versuche mit sonstigen Auflösungen verschiedener Salze im Wasser[2] hier mitgetheilt zu werden, aus denen im Allgemeinen hervor-

absolut sicher, noch weniger ist dieses aber in Beziehung auf den Gefrierpunct der Fall, welcher durch das Ausscheiden des Salzes bedingt wird. Dieser Umstand verdient sehr beachtet zu werden, denn es ist sonst kaum möglich, die verschiedenen, durch Versuche und Beobachtungen erhaltenen Resultate über den Gefrierpunct und die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit des Seewassers unter sich zu vereinigen und mit der Theorie in Einklang zu bringen, obgleich die genaue Ermittelung der Wahrheit bei einer so einfachen Aufgabe nichts weniger als schwierig zu seyn scheint. Nach meinen Versuchen und der daraus erhaltenen Formel ist die Temperatur des Seewassers bei seiner gröfsten Dichtigkeit = — 5° C. Steht der Genauigkeit dieser Bestimmung gleich der Umstand entgegen, dafs die Formel bis zur vierten Potenz der Temperaturen ausgedehnt ist, wie oben §. 484 bemerkt wurde, so kann doch die Abweichung nicht grofs seyn, wenn man die anderen, auf gleiche Weise erhaltenen, Resultate berücksichtigt. Der Mangel an Uebereinstimmung mit der Erfahrung wird aber leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, dafs die nach der Formel gefundene Temperatur für das Maximum der Dichtigkeit dann statt finden würde, wenn das Mischungsverhältnifs der Salzsolution unverändert bliebe, in welchem Falle sie bis — 5° C. erkältet bei dieser Temperatur am dichtesten seyn und sofort gänzlich gefrieren würde. Dieses wird aber durch die inzwischen erfolgende Ausscheidung des Salzes gehindert, worüber die Formel jedoch keine Auskunft geben kann. Jenachdem diese Ausscheidung des Salzes leichter erfolgt, trifft das Gefrieren eine zunehmend minder gesättigte Solution und der Gefrierpunct rückt stets höher hinauf, woraus dann die ungleichen Bestimmungen des Gefrierpunctes erklärlich werden.

1 G. LXVII. 144 ff.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 1. Poggendorff's Ann. XLI. 66.

geht, dafs durch Vermehrung der aufg
wohl das Maximum der Dichtigkeit, al
des reinen Wassers tiefer herabgeht. H
selbst, dafs in den Fällen, wenn das M
einer tieferen Temperatur zugehört, als
liegt, die Lösung sich auf gleiche Wei
zu mehreren Graden unter den Gefrierp
hen erkalten liefs. Es wird indefs gen
tabellarisch zusammenzustellen, wobei
Menge des Wassers, worin die angegeb
löst waren, stets 997450 betrug.

Menge der aufgelösten Salze.	
Salzsaures Natron . . .	12346 Th.
	24692 —
	37039 —
	74078 —
Salzsaurer Kalk	6173 —
	24692 —
	37039 —
	74078 —
Schwefelsaures Kali .	6173 —
	12346 —
	24692 —
	37039 —
	74078 —
Schwefelsaures Natron .	6173 —
	12346 —
	24692 —
	37039 —
	74078 —
Kohlensaures Kali . .	37039 —
	74078 —
Kohlensaures Natron .	37039 —
	74078 —
Schwefelsaures Kupfer .	57996 —
Reine Pottasche	37039 —
	74078 —
Schwefelsäure	6173 —
	12346 —
	18974 —
	37039 —
	74078 —
Alkohol	74078 —

Im Ganzen ersieht man hieraus, dafs das Maximum der Dichtigkeit des Wassers durch Zusatz von Salzen, Säuren und Alkohol bei zunehmender Menge der letzteren stets zu niedrigern Temperaturen weiter hinabrückt, und zwar bei einigen Substanzen mehr, bei andern weniger, Margarinsäure dagegen. Oelsäure, Stearinsäure, Olivenöl, Cetin, Paraffin und Naphthalin ziehen sich fortdauernd zusammen, ohne ein Maximum der Dichtigkeit zu zeigen.

Hiermit stimmen im Ganzen die Resultate überein, welche Bellani[1] erhalten hat, unter denen sich sehr viel Bekanntes findet, weswegen ich nur Weniges heraushebe. Eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Natron in Wasser erkaltet in Ruhe bis selbst mehrere Grade unter 0, Erschütterung aber oder das Hineinbringen eines kleinen Krystalls oder eines sonstigen trockenen Körpers bewirkt augenblickliche Krystallisation unter fühlbarer Wärmeentwicklung und Vermehrung des Volumens; Letzteres zeigte sich, als die Flüssigkeit in einem Kolben mit engem Halse krystallisirte und das Volumen von 1000 auf 1023 wuchs, ohne Aufsteigen von Luftblasen. Bellani glaubt, die Raumvermehrung sey Folge davon, dafs das Wasser sich als Eis in dem Salze befinde, was wohl keiner Widerlegung bedarf. Schwefelsaure Thonerde läfst sich gleichfalls tief erkälten, und beim Krystallisiren erfolgt Vermehrung des Volumens; bei Salpetersolution ist letztere nicht wahrnehmbar, doch ist der Einflufs des Erkaltens, so wie die Zusammenziehung des Glases, nicht berücksichtigt. Eine Lösung von Kupferammoniak in Wasser mit einem Zusatz von 0,1 Alkohol krystallisirte bei — 10° C., ohne dafs die Flüssigkeit gefror, gesättigter Kampferspiritus widerstand noch gröfserer Kälte und zeigte dann keine Volumensvermehrung[2]. Sächsisches Vitriolöl, schwach rauchend, von 1,840 spec. Gewicht, gefror erst bei 0°, zerflofs aber gestanden erst bei 11°,25; verdünntes von 1,78 spec. Gewicht schmolz bei 8°, beide mit Verminderung ihres Volumens, und zwar war diese Zusammenziehung bei

1 Brugnatelli Giorn. di Fisica, Chim. cet. Bim. 3 e 4. T. X. Daraus in Wiener Zeitschrift Bd. III. S. 481. Eine frühere Abh. desselben findet sich ebend. Bd. VI.

2 Sollten diese beiden Versuche eigentlichen Werth haben, so müfsten die Thatsachen genauer bestimmt und die Nebenbedingungen ausgeschieden seyn.

dem verdünnten am gröſsten. Radical
und noch tiefer erkälten, ohne zu ge
Krystallisations- und Schmelzpunct so
und keine Audehnung, vielmehr eine Z
ben hierbei statt finden. Die Flüssigk
setzt BELLANI auf 5°,25, ferner die des
Oleins auf —5°; beide vereint können
zu gestehn, vorzüglich wenn sie vorher
unter keiner Bedingung findet eine Aus
das Gefrieren statt.

Ueber die bekannte Ausdehnung de
neuere und aus dem Grunde werthvolle
den, weil aus ihnen hervorgeht, daſs di
seine enorme Kraft ausübt, nicht eben
und dabei eine gänzliche Erstarrung
nicht erfordert wird[1]. Im Arsenal z
eiserne Bombe mit Wasser gefüllt, du
verschlossen und einer Kälte von —
worauf sie nach 7 Stunden so zers
eine Stück 10 Fuſs, das andere 7
dert war, ungeachtet die Dicke de
betrug. Eine andere Bombe zerbo
— 2°,22 C., eins der Stücke flog bi
Eiskruste betrug nur 13 Linien. VA
gen sowohl von Salpeter, als auch Sa
Kugeln mit engeren Röhren krystallis
mit starker Gewalt aus einander gespr
diese Versuche wiederholte, fand er da
vielleicht weil die Solutionen einen
Concentration hatten.

499) Behalten wir bei den übrige
kungen über das *Eis* die in diesem A
folgte Ordnung bei, so läſst sich an
Bestimmung der *Krystallform* desselbe

1 Biblioth. univ. 1830. Fevr. p. 314.
S. 469. Dingler's polytechnisches Journ. Bd
2 Ann. de Chim. T. XIV. p. 286.
3 Schweigger's Journ. LX. 12.
4 Trans. of the Phil. Soc. of Cambri
que univ. T. XXVIII. p. 47. Edinb. Philos.

worden ist, noch Folgendes anknüpfen. Nach Smithson[1] ist dessen Krystallform eine doppelt-sechsseitige Pyramide, wie Bergkrystall, mit einem Winkel von 80° an der Vereinigung beider Pyramiden. Die Spitze der einen Pyramide ist abgestumpft, und er bemerkt hierbei, dafs solche Krystalle nach Haüy durch Wärme elektrisch werden. Am genügendsten ist wohl diese Aufgabe durch Brewster[2] behandelt worden, welcher schon früher ermittelt hatte, dafs das Eis ein das Licht doppelt brechender Körper sey, von einer einzigen optischen Axe, welche senkrecht gegen die Fläche des auf ruhigem Wasser gebildeten Eises stehe. Hieraus folgert er, dafs dasselbe entweder zum rhomboëdrischen oder sechsgliedrigen oder viergliedrigen Krystallisationssysteme gehöre, und es gelang ihm, hierüber bestimmter entscheiden zu können. Am Morgen nach einer kalten Nacht erhielt er aus einem runden Wasserbassin, welches gegen jede Bewegung der Luft durch eine steinerne Brustwehr geschützt war, eine sehr dünne, gänzlich blasenfreie und vollkommen durchsichtige Eisplatte, und freute sich, bei näherer Untersuchung die dreiflächigen Spitzen zweier sehr stumpfen Rhomboëder zu entdecken, die sich über die Fläche erhoben. Als die Eisplatte dem polarisirten Lichte ausgesetzt wurde, zeigte sie in der gegen ihre Fläche lothrechten Richtung das positive einaxige System der Ringe. Eine Messung der Winkel war unmöglich wegen der Wärme des Tages und der zu grofsen Entfernung von dem Hause, wohin es gebracht werden mufste. Die beschriebene Krystallisation glich genau einigen Exemplaren von Haüy's *Chaux carbonatée basée*, die Brewster sah, auf deren ebener Oberfläche mehrere abgestumpfte Spitzen von Kalkspath-Rhomboëdern mit ihrer Axe lothrecht gegen die Fläche der Platte gebildet waren. Die Mannigfaltigkeit der Gruppirung dieser Krystalle zeigt sich vorzüglich in den *Schneeflocken*[3] und in den blumigen Gebilden auf Fensterscheiben, welche einzeln zu untersuchen ins Unendliche führen würde[4].

---

1 Annals of Philos. New Ser. 1823. Mai p. 340. Vergl. Berzelius Jahresber. 1825. S. 75.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XXII. p. 245. Poggendorff's Ann. XXXII. 399.

3 Vergl. *Schnee*. Bd. IX. S. 556 und die dazu gehörigen Tafeln.

4 Vergl. Hessel's Bemerkungen in Kastner's Archiv. Bd. X. S. 299. Die ungleiche Wärmeleitung der Glasscheiben kommt bei diesem

Ein kürzlich von mir beobachtetes, gewifs sehr seltenes, Phänomen war, dafs nach einer kalten Nacht in einem ungeheizten Zimmer die Fensterscheiben überall mit Wasser stark bedeckt waren, welches sich beim Abwischen in einen nur mit Mühe wegzuschaffenden undurchsichtigen Ueberzug von Eis verwandelte. Durch den Einflufs sehr intensiver Kälte erzeugen sich im Wasser schnell eine Menge Eiskrystalle, zwischen denen die noch nicht gefrornen Theile verbreitet und so eingeschlossen sind, dafs das Ganze eine wenig durchsichtige, homogen scheinende Masse bildet, derjenigen sehr ähnlich, die man erhält, wenn eine gesättigte Solution von schwefelsaurem Natron in einem luftleeren Medicinglase nach dem Sieden erkaltet ist und beim Oeffnen des Glases plötzlich krystallisirt (§. 456). Letzteres Phänomen, so wie überhaupt das Krystallisiren, könnte gleichfalls unter die Processe des Gefrierens gerechnet werden, es findet dabei aber der wesentliche Unterschied statt, dafs bei der Bildung der Krystalle diese sich von dem heterogenen Menstruum trennen, beim Gefrieren aber homogene Massen aus dem Zustande der Flüssigkeit in den der Festigkeit übergehn, weswegen auch bei jenen kein Gefrierpunct statt findet; die Aehnlichkeit beider Processe, namentlich des Gestehens der Glaubersalzlösung und des Gefrierens des Wassers, beruhet also blofs auf der Eigenthümlichkeit, dafs in beiden Fällen die zu einer Masse vereinten Krystalle in ihren Zwischenräumen Flüssigkeit eingeschlossen enthalten, die beim Wasser später gleichfalls in Eis verwandelt wird und dann die Ausdehnung des letzteren bewirkt. Am deutlichsten gewahrt man dieses, wenn Wasser im luftleeren Raume gefriert, namentlich bei den Versuchen mit dem *Kryophorus* (§. 469), und hieraus erklärt sich leicht die bekannte Ausdehnung des Eises sowohl überhaupt, als auch die ungleiche Gröfse derselben im Besonderen, wie nicht minder der Umstand, dafs sich selbst in dem im Vacuum gebildeten Eise kleine Bläschen zeigen, die dadurch entstehen, dafs die schon gebildeten Krystalle durch die neu entstandenen

---

Processe gleichfalls in Betrachtung. Legt man an die Aufsenseite einer Fensterscheibe im Winter eine Metallplatte an, so wird sie an dieser Stelle nicht mit Eis bedeckt, weil das Metall die Wärme reflectirt, nach Carena in Bibl. univ. T. II. p. 238, ist aber inwendig Stanniol aufgeklebt, so ist der Niederschlag hierauf stärker, als auf dem Glase, nach Biot Traité. T. IV. p. 66.

in gröſsere Räume ausgedehnt werden, als das zwischenbefindliche Wasser auszufüllen vermag, oder daſs die durch das Gefrieren frei werdende Wärme Dampfbläschen bildet, welche durch das nachher entstehende Eis umschlossen werden. So fand unter andern Bellani[1] bei seinen ausführlichen Untersuchungen über die Erscheinungen des Gefrierens in 6 Versuchen das specifische Gewicht des Eises zwischen 0,885 und 0,910, wie auch nicht minder die beträchtliche Ausdehnung desjenigen, welches aus luftfreiem Wasser nach wiederholtem starken Auskochen in einer Glasröhre gebildet wurde, was als Beweis gegen Homberg's[2] Ansicht gelten kann, nach welcher die Ausdehnung eine Folge der aus dem Wasser entweichenden Luft seyn soll. Daſs auch in solchem Eise, welches im Vacuum entsteht, kleine Bläschen erzeugt werden, beobachtete Cagnard-Latour[3], als er Wasser in kleinen Wasserhämmern gefrieren lieſs; es versteht sich aber von selbst, daſs das Eis um so viel klarer ist, je reiner das Wasser war, woraus es gebildet wurde, und je weniger Bläschen sich darin befinden, denn letztere machen es undurchsichtiger[4]. Eine höchst merkwürdige Erscheinung bleibt stets die Zusammenziehung des Wassers bis zum Maximum seiner Dichtigkeit und dann die beginnende Ausdehnung desselben bei zunehmender Kälte, die bis mehrere Grade unter den Gefrierpunct bei vollkommener Ruhe fortgeht. Das plötzliche Gefrieren eines Theiles oder bei erreichter sehr starker Kälte des Ganzen, was jedoch nur Täuschung ist, sofern der noch nicht erstarrte Antheil des Wassers zwischen den Eiskrystallen mechanisch festgehalten wird und erst später allmälig unter fortdauernder Ausdehnung der bereits erstarrten Masse gefriert, läſst sich leicht aus der Analogie mit dem Krystallisationsprocesse im Allgemeinen erklären. Unrichtig geschah dieses durch Holmann[5] und Kraft[6], welche glaubten, es sey das plötzliche Gefrieren eine Folge der von auſsen hinzukommenden Wärme, die das Wasser ausdehne und somit

1 Brugnatelli Giornale. T. I. p. 410.
2 Mém. de l'Acad. 1699.
3 L'Institut. VIIIme Ann. N. 318. p. 42.
4 American Journ. of Science and Arts. 1821. Febr. Bibl. univ. T. XIX. p. 243.
5 Gött. gelehrte Anz. 1743. Jan.
6 Comment. Soc. Petrop. T. XIV. p. 226.

die dem Eise nothwendige Volumens-Vergröſserung einleite. Seit der Kenntniſs des latenten Wärmestoffs kann kein Zweifel darüber obwalten, daſs dieser sich von den Molecülen des Wassers nicht trennt, obgleich die sensible Wärme abnimmt, und daſs dieselben sich daher nicht zu Krystallen vereinigen können. Dadurch ist aber die unterdem Maximum der Dichtigkeit beginnende Ausdehnung noch nicht erklärt, und mir ist auch keine Hypothese bekannt, die man zu diesem Zweck aufgestellt habe. Die Aufgabe gewinnt dadurch an Schwierigkeit, daſs die zunächstliegende Vermuthung der Entstehung unmerklich kleiner Krystalle, obgleich diese sich von selbst aufdringt, aller eigentlichen Stütze ermangelt; denn wenn solche Krystalle auch von geringster Gröſse vorhanden wären, so müſsten sie nach höchster Wahrscheinlichkeit einen Einfluſs auf den polarisirten Lichtstrahl ausüben, was aber nach von Smithson[1] und von mir selbst wiederholt angestellten Versuchen keineswegs statt findet.

Als beiläufige Bemerkung möge hier noch eine Beobachtung erwähnt werden, welche Pontus zu Cahors gelegentlich machte. Dieser lieſs Wasser unter der exantlirten Campane einer Luftpumpe in einer kleinen, 1 bis 2 Centim. hohen Flasche gefrieren, indem er dieselbe durch umgebende, in Aether getränkte, Baumwolle erkältete, und gewahrte dabei einen am Tage sichtbaren Funken, welchen Schweigger[2] für Krystallelektricität erklärt; inzwischen ist das Phänomen noch nicht allseitig genug erforscht worden, um diese Hypothese als genügend begründet zu betrachten, da ohnehin das eigentliche Wesen der Krystallelektricität wohl noch nicht vollkommen festgestellt worden ist.

500) Horner[3] hat in einem eigenen Abschnitte die Entstehung des *Grundeises* (Glace du fond; *Ground Ice;* im südlichen Schottland *Lappered-Ice*) abgehandelt, die er mit Recht eine anomale Eisbildung nennt. Obgleich das Wasser der Natur der Sache nach nur an der Oberfläche gefriert, an den Seiten und am Boden aber nur in solchen Gefäſsen, die

---

1 Ann. of Philos. New Ser. 1823. p. 240. Berzelius Jahresbericht 1825. S. 74.

2 Dessen Journal Th. VIII. S. 294.

3 S. Art. *Eis.* Bd. III. S. 127.

ihre Wärme gerade von hier aus so schnell an die äufsere Umgebung abtreten, dafs das bis zu 0° erkaltete und dadurch specifisch leichter gewordene Wasser nicht aufsteigen kann, sondern durch Adhäsion an den Wandungen fest gehalten und durch schnelle Entziehung der Wärme in Eis verwandelt wird, obgleich also diesemnach am Boden der Flüsse, der Seen und des Meeres kein Eis entstehen kann, die Physiker daher die so oft aus der Erfahrung gefolgerte Existenz des Grundeises in Abrede stellten und die darüber vorhandenen Beobachtungen auf anderweitige Weise zu erklären suchten, so ist doch wohl das wirkliche Vorhandenseyn des Grundeises aus den bereits beigebrachten Thatsachen hinlänglich erwiesen[1] und dessen Entstehung genügend erklärt; inzwischen haben unterdefs bedeutende Gelehrte dieses Problem einer weiteren Untersuchung unterworfen, und die Resultate ihrer Forschungen verdienen daher hier nachträglich erwähnt zu werden. Dahin gehört vorzugsweise eine ausführliche, sowohl ältere als auch neuere Erfahrungen und Hypothesen berücksichtigende Untersuchung von Arago[2], woraus wir einiges, noch nicht erwähntes, entnehmen.

Zuvörderst wird das wirkliche Vorkommen des Grundeises zwar als erwiesen angenommen, keineswegs aber die Erklärung seines Entstehns als genügend begründet, weswegen der Hauptzweck darauf gerichtet ist, die bekannten Thatsachen möglichst vollständig zusammenzustellen, wobei man jedoch bald erkennt, dafs die von Horner gegebene Erklärung als der Sache angemessen erscheint. Dieses geht besonders aus den Beobachtungen hervor, welche Knight[3] bekannt gemacht hat. Das Flüfschen Teme in Herfordshire ist zum Behuf einiger Mühlen durch eine Schleuse aufgestauet und bildet hinter dieser ein gröfseres Becken. Nach einer sehr kalten Nacht sah man in dem Wasser, welches über das Wehr herabstürzt, Millionen schwimmender Eisnadeln, die hervorragenden Steine in dem

---

1 Merian's Abhandlung über diesen Gegenstand findet man auch in Edinb. Phil. Journ. N. XXV. p. 125 und Stevenson's Beobachtung der schwimmenden Ketten in Edinburgh New Phil. Journ. N. XXIX. p. 193.

2 Annuaire pour 1833. p. 244. Poggendorff's Ann. XXVIII. 204. Edinb. New Phil. Journ. N. XXIX. p. 123.

3 Philos. Trans. T. CVI.

engen Canale des Flusses unterhalb der Schleuse waren aber mit einer silberweifsen Kruste überzogen, die bei näherer Untersuchung aus zusammengefügten, sich nach allen Richtungen durchkreuzenden Eisnadeln bestand und über einigen zu bedeutenden Massen anwuchs, während auf der Oberfläche nur an einigen ruhigen Stellen des Ufers gewöhnliches compactes Eis sich angesetzt hatte. Am 11ten Febr. 1816 sahen die Brücken- und Wegebaumeister zu Strafsburg von der Brücke bei Kehl herab den Boden des Rheins mit Eis bedeckt, welches sich gegen 10 Uhr Morgens losrifs und fortschwamm; es war sehr locker und hatte sich nur an hervorragenden Steinen gebildet. Sehr ausführliche Beobachtungen über dieses Phänomen hat Hugi[1] mitgetheilt. Am 16ten Febr. 1827 sah er bei ruhig fliefsendem Wasser eine Menge Eisstücke vom Boden der Aar aufsteigen und fortfliefsen, ganz mit dem übereinstimmend, was Hales hierüber in Beziehung auf die Themse berichtet. Die Temperatur der Luft war — 5°,7, nahe am Wasser — 4°,9, an der Oberfläche des Flusses 2°,1, am Brückenbogen, wo sich kein Eis bildete, 3° und am Boden, von wo das Eis aufstieg, 0° C. Ebenderselbe sah am 12ten Febr. 1829, als in der Nacht das Thermometer bis — 14° C. herabgegangen war, dafs der Flufs in seiner Mitte mit Eis ging, ohne dafs sich solches an den Ufern angesetzt hatte. Aus diesem bildeten sich sogar mehrere Eisinseln, deren am folgenden Tage 23 entstanden, eine von 100 Fufs Durchmesser, alle aus einer 2,5 bis 4 Zoll dicken compacten Eisdecke bestehend, die auf einer vom Boden in Gestalt eines umgekehrten Kegels aufsteigenden lockeren und schwammigen Eismasse festsafsen. Zur Zeit der Beobachtung war die Temperatur der Luft 28 Fufs über der Aar — 11°,2, 4 Fufs über derselben — 9°,4; in 2 Zoll Tiefe des Wassers 0°, in 5,5 Fufs Tiefe 1°, 6 Zoll vom Boden 1°,5 und am Boden selbst 2°,4 C.; jedoch wurden diese Messungen an einer Stelle gemacht, wo sich kein Grundeis gebildet hatte. Nach den Angaben, welche Fargeau der Pariser Akademie mittheilte, sah er am 25sten Jan. 1829 bei — 13°,71 C. Lufttemperatur die Steine im Rheine bei Kehl an einer Stelle, wo eine starke Strömung vorbeiging, mit schwammigem Eise belegt, weit gröfsere Massen desselben aber zeigten sich an Stei-

---

1 Bibl. univers. 1829. Juillet. T. XLI. p. 201.

nen und hervorragenden Holzstücken; das Wasser hatte an der Oberfläche und am Boden 0° Wärme, auch sah FARGEAU unter seinen Augen solche Stücke emporkommen und als Treibeis fortfliefsen; desgleichen sagte ihm der Besitzer eines Hammerwerkes in den Vogesen, dafs er das Bette seines Baches alle Jahre von Steinen und sonstigen Hervorragungen befreien lasse, um das Entstehen des Grundeises zu verhüten. DUHAMEL liefs im Februar 1830 das Eis der Seine zwei bis drei Fufs vom Ufer durchbrechen, und fand am Boden eine 4 Centim. dicke Eisschicht, die Temperatur des Wassers war aber überall = 0° C.

Nicht ohne Interesse ist der Ueberblick der verschiedenen Theorieen, die man über dieses Phänomen aufgestellt hat. Nach dem Volksglauben der Fischer, sagt ARAGO, wird das Grundeis durch die erkältende Eigenschaft des Mondes gebildet und durch die Sonnenstrahlen emporgezogen. Nach einer andern Erklärung[1] soll Wärme durch heftige Bewegung entstehn, und da die Flüsse an der Oberfläche am stärksten strömen, so mufs ebendaselbst die Wärme am gröfsten seyn, am Boden aber am geringsten, wodurch das Eis entsteht und durch die sich entbindende Luft emporgetrieben wird. Dafs man nach NOLLET die Existenz des Grundeises ganz in Abrede stellte und die Thatsachen aus Eisschollen, durch kleine Flüsse zugeführt oder an den Ufern bei ungleichem Wasserstande gebildet, zu erklären suchte, ist bekannt, aber ebenso gewifs auch, dafs diese Erklärung auf die späteren genauen Beobachtungen nicht pafst. Wenn Mc. KEEVER meint, die Steine und sonstigen Hervorragungen in den Flüssen hätten ein stärkeres Strahlungsvermögen und würden dadurch kälter, so läfst sich dieser Hypothese aufser andern Argumenten namentlich entgegenstellen, dafs dann das Grundeis auch im ruhigen Wasser entstehn müfste, wovon kein Beispiel vorhanden ist. Die Erklärung, welche ARAGO giebt, ist folgende. Das Wasser wird an der Oberfläche erkältet und kann im Zustande der Ruhe am Boden nicht gefrieren, weil es bei 0° specifisch leichter ist, als bei 4° C., weswegen das wärmere herabsinkt; bei bewegtem aber, wenn es durch seine ganze Masse bis 0° erkaltet ist, werden sich

1 Observations sur les écrits modernes. T. XXXI. vom Jahr 1742.

nach dem Verhalten beim Krystallisir
vorragungen die ersten Eisnadeln anset
die stärkere Bewegung an der Oberfl
nen Krystalle wieder zerreifst, die s
wenn auch nur verhältnifsmäfsig mi
über dem Boden zu Massen anhäufen.
diese Erklärung nicht für genügend,
macht worden ist, ob das Grundeis sich
die Wärme der ganzen Wassermasse au
und man noch nicht weifs, welche Roll
nommenen kleinen, auf der Oberfläch
stalle bei diesem Processe spielen. Da
würdige Beobachtung von Huer. D
wo das Grundeis entstand, Krüge, mi
Wasser gefüllt, in die Tiefe hinab u
die ersten mit einer zolldicken Eiskru
frei; auch gaben heifse und kalte Ku
und herabgelassen, dieselben Resultate
durchaus wiederholt werden, um die
kenden Bedingungen genau kennen zu

501) Die hier aufgestellten An
nicht ganz. Er bezieht sich auf e
getheilte Nachricht über ein Phäno
allen Einwohnern von Perth bekan
dem plötzlich eintretenden Froste, e
Ufern aus über den Flufs ausbreitet
ckeren Eises an Felsen und hervorra
Boden gebildet werden und schnell
wachsen, dafs der Strom sie losreifst
gen Arago's Hypothese wendet er ei
Kälte Grundeis entstehn müfste, soba
derliche Temperatur erreicht habe, v
sey, wie sich namentlich bei der s
von 1813 auf 14 gezeigt habe, als d

---

1 Man könnte diese Erscheinung auf
Verhalten der Wärme zurückführen, allei
sen zuvor die Thatsachen selbst und die
gungen genau constatirt seyn.

2 Edinburgh New Phil. Journ. N. X

Eis an den Ufern gehabt habe, ohne irgend eine Spur von Grundeis am Boden. Dagegen beruft er sich auf die Erfahrung aller Besitzer von Wasserwerken, die sich hierfür vorzugsweise interessiren, und nach deren Behauptung Grundeis nur dann entsteht, wenn ein sogenannter Rauchfrost oder Eisnebel vorangegangen ist. Hierbei fallen die feinen Eisnadeln in das Wasser, werden in Folge der Bewegung desselben nicht aufgelöst, sondern theilen sich der gesammten Masse mit, kühlen diese bis zum Gefrierpuncte ab und setzen sich dann zuerst an die hervorragenden Steine an. Zur Unterstützung dieser Ansicht führt er eine Aeufserung von Demarest an, wonach das Grundeis am leichtesten bei trübem Himmel entstehn soll, wobei er die Trübheit als ein Zeichen vorhandenen Eisnebels betrachtet. Ebenso leitet er die durch Knight beobachteten kleinen Eispartikeln, welche auf dem Wasser schwammen, worin sich unterhalb des Wehrs Grundeis bildete, von einem in der Nacht statt gefundenen Eisnebel ab. Inzwischen läfst sich hierüber weiter nichts sagen, als dafs allerdings die beim Eisnebel ins Wasser fallenden kleinen Eisnadeln, wenn auch die ersten derselben geschmolzen werden, dennoch eben hierdurch das Wasser bis auf den Nullpunct abkühlen und daher die zur Bildung des Grundeises erforderliche Bedingung befördern, ebenso wenig aber läfst sich in Abrede stellen, dafs durch die Wirkung einer intensiven Kälte auf die Oberfläche des Wassers solche feine Eisnadeln gleichfalls gebildet werden müssen und der Erfahrung nach auch wirklich entstehn, wodurch dann die erforderliche Bedingung gleichfalls gegeben ist.

502) Dieser Einwurf findet die vollste Bestätigung durch die höchst interessanten Versuche, welche Strehlke an einem Arme der Spree anstellte. Als nach milder Witterung im Februar 1832 vom 12ten an die Temperatur bei Ostwind und völlig heiterem Himmel unter den Gefrierpunct herabging und am 14ten Abends — 8°,75 C. erreichte, liefs derselbe einen mit Steinen beschwerten Korb, worin sich aufserdem Metallplatten und auch eine durch Holzstäbe festgeklemmte Bürste befand, um 10 Uhr Abends in das Wasser des Canals von einem Flosse aus bis zu etwa 3 Fufs Tiefe und 7 bis 8 Fufs Entfernung vom Ufer auf den Boden hinab, und obgleich der Himmel in der ganzen Nacht heiter, auch die Oberfläche des

Wassers nirgend gefroren war, so war doch um 7 Uhr Morgens der Korb selbst, nebst allen darin liegenden Gegenständen, vorzugsweise aber die Bürste, überall mit Eisnadeln bedeckt. Auf den Zinkplatten mit rauherer Oberfläche, im Verhältnifs zum Kupfer, zeigten sie sich zahlreicher, waren wenig durchsichtig und liefsen sich leicht trennen; auch hingen diesen ganz gleiche Blättchen an Eisnadeln, die sich am Morgen bildeten, und eine Menge derselben schwamm auf dem Wasser. Strehlke setzte die Versuche vom 15ten bis 21sten in jeder Nacht fort, der Himmel war jederzeit hell, die Temperatur der Luft war am 15ten — 8°,5 C. und stieg erst am 20sten Morgens 6 Uhr, auf welche Zeit sich alle Angaben beziehn, bis — 5° C., wobei ausdrücklich bemerkt wird, dafs nach den psychrometrischen Messungen des Directors August der Feuchtigkeitszustand der Luft vom 15ten an zunahm. Hierdurch ist wohl genügend erwiesen, dafs in der Luft gebildete Eisnadeln ebenso wenig als trüber Himmel zur Bildung des Grundeises erforderlich sind, obgleich von der andern Seite beide Ursachen dieselbe der Erfahrung nach nicht hindern, wohl aber die Erzeugung ähnlicher Blättchen, als woraus das Grundeis besteht, bewirken können, hauptsächlich wenn man das anfängliche schwammige, lockere und wenig durchsichtige Eis, womit die Flüsse vor dem Zufrieren in enormer Quantität bedeckt zu seyn pflegen, der herrschenden Ansicht nach für wirklich am Boden gebildetes und statisch aufgestiegenes Grundeis hält, welches sich dann von den vereinten Flocken des in das Wasser gefallenen Schnees oder Eisnebels nicht unterscheiden liefse. Dem Grundeise vollkommen gleichende Eisblättchen sieht man stets in den Eislöchern, die in das Eis der Flüsse gehauen sind und nicht selten in bedeutender Menge zum Vorschein kommen, und falls diese gleichfalls am Boden entstehn und aufsteigen, wie Strehlke annimmt, so veranlafst dieses die interessante Frage, ob Grundeis in den Flüssen auch dann gebildet wird, wenn sie schon mit einer Eisdecke belegt sind, oder ob es sich blofs unter den Eislöchern erzeugt. Eine fortdauernde, der anfänglichen hinsichtlich der Quantität gleichkommende Bildung des Grundeises am Boden der Flüsse ist deswegen nicht wahrscheinlich, weil sonst die Eisdecke durch das stete Aufsteigen desselben eine weit gröfsere Dicke erhalten müfste, als die Erfahrung ergiebt. In Beziehung auf die auf-

:worfene Frage macht Ayke[1] die Bemerkung, dafs auf der 7eichsel und Radaune in der Regel offene Stellen (sogenannte *länke*) bleiben oder von den Schiffern quer durch das Eis :s Stromes, auch als runde Löcher von den Fischern ge- ıuen werden; einige liefs er selbst zum Zwecke der Beob- :htungen herrichten. Die Schiffer behaupten dann, dafs sich den Fahrstrafsen Grundeis als zersplitterte Massen zeige, die aber für Bruchstücke des zerschlagenen und unter die feste ecke geschobenen, vom bewegten Wasser fortgetriebenen Ei- s zu halten geneigt ist, in den Löchern aber bildet sich nach iner Erfahrung zwar oft Eis, aber allezeit aus den gewöhn- :hen Eisnadeln, die von den Rändern ausgehn und allmälig e Oeffnung mit festem durchsichtigem Eise überziehn. Dafs ihnen Grundeis emporkomme, wie von Einigen behauptet ird, stellt er in Abrede und glaubt daher, dafs kein Grund- s weiter gebildet werde, nachdem bereits eine feste Eisdecke tstanden ist, was man mindestens für das Wahrscheinlichste lten mufs. Ob das auf der Weichsel und Radaune in grofser enge oft in einer Nacht gebildete, zuweilen in mächtigen, s auf den Grund hinabreichenden Massen aufgehäufte, zu ei- :r festen Decke gefrierende, durch offene oder mit festem se bedeckte grofse Strecken unterbrochene sogenannte Grundeis irklich auf dem Boden erzeugt sey, bleibt wohl problematisch, : Ayke nie solches von dem schlammigen Grunde beider üsse durch Stangen losmachen konnte, was hätte geschehn üssen, wenn es dort vorhanden gewesen wäre.

503) Gay-Lussac[2] ist nicht ganz einverstanden mit der ırch Arago gegebenen Erklärung, welche nach seiner Ansicht ırauf beruht, dafs die Erhabenheiten und Hervorragungen den rystallisationsprocefs von Salzsolutionen einleiten und beför- :rn sollen. Allein dieses findet nur dann statt, wenn diese ösungen übersättigt sind, und selbst unter dieser Bedingung : ein plötzliches Hinzukommen solcher heterogener Körper in e ruhige Flüssigkeit erforderlich, denn wenn sie vorher vor- ınden sind, kann die Uebersättigung eintreten, ohne dafs sie e Krystallbildung bewirken. Ein solcher Zustand der Ueber- ttigung würde aber beim Wasser einer Erkältung unter den

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIX. 122.

2 Annales de Chim. et Phys. T. LXIII. p. 359.

Gefrierpunct analog seyn, und letzte
lange das Wasser in steter Bewegun
Messungen eine Temperatur desselbe
die Bildung des Grundeises statt fi
denkt sich GAY-LUSSAC die Entste
sen Daseyn als unzweifelhaft ersch
Weise. Wenn namentlich bei plötz
heiterer, trockner Luft das Wasser ü
dessen Oberfläche, stark erkaltet, s
unter Mitwirkung erhöhter Verdunst
grofser Menge, deren Temperatur m
geht. In Folge der steten Bewegun
gesammte Wassermasse verbreitet,
dadurch die Temperatur derselben
Nachdem dieses erfolgt ist, werden
und unter 0° C. erkalteten Eistheil
Gewalt des Wassers in die Tiefe h
durch den Ueberschufs ihrer Kälte l
Gegenständen, andere hinzukommen
Gründen an diese ersteren fest, und
Masse des Grundeises am Boden d
statt dafs sich auf der Oberfläche de
die Eisnadeln vereinigen und hier d
welches mit gleichem Namen belegt
deln sehr erkaltet, haben sie eine
sie sich eng zusammen, so dafs das
Wasser gleichfalls gefriert, so entste

1 Wenn dieses lockere Eis der
Stellen gelangt, wo die Bewegung stärk
handene Strudel, so kann es in die Ti
an Hervorragungen festsitzen und zu d
werdenden Anhäufungen dienen, welche
rig zu erklären ist dann ferner, dafs
Grundeis bedeckten Flächen der Ströme
Strecken befinden, denn die Bewegung,
Wassers, wird durch die überdeckende
schen zwei solchen Lagen ist sie daher
den die gebildeten Eisnadeln der vord
gröfstentheils unter diese und vermehr
aber bleiben offen oder werden durch e
hende, allmälig gebildete Decke festen

rinde, welche nicht selten die Steine am Boden der Flüsse umgiebt. Zur Unterstützung seiner Hypothese giebt Gay-Lussac folgenden Versuch an. Wenn man Erbsen bis einige Grade unter den Gefrierpunct erkältet und sie dann in Wasser von 0° C. Temperatur wirft, so frieren sie am Boden fest, so dafs man das Gefäfs umkehren und das Wasser ausgiefsen kann, ohne sie herausfallen zu machen.

Eine gewifs minder befriedigende Erklärung dieses vielbesprochenen Phänomens giebt Lazarowicz[1]. Hiernach kann, wie bekannt, in dem bewegten Wasser das etwas wärmere und dadurch specifisch schwerere nicht herabsinken und die gesammte Masse wird daher bis 0° abgekühlt. Die Spitzen rauher Körper erkalten dann etwas tiefer, weil sie ihre Wärme an das Wasser abgeben (?), es setzt sich Eis an ihnen an, welches sich zuerst an den Ufern bildet, dann stets tiefer herab an allen rauheren Stellen und so fort bis zum Boden der Flüsse hinab. Man ersieht aber bald, dafs diese Hypothese nicht allen ausgemachten Thatsachen genügt[2].

---

1 Preufs. Provincialblätter 1836. Juli.

2 Ueber die Eisbildung der Natur im Grofsen, das *Meereis* und die *Gletscher*, hat Horner ausführlich gehandelt; er kannte beide aus eigener Anschauung. Ueber die letzteren erwähne ich daher nur eine Abhandlung von Agassiz in Edinb. New Phil. Journ. N. XLVIII. p. 364 und eine andere ebend. N. LIV. p. 383. Noch erwähne ich eine unbedeutende und leicht zu erklärende Erscheinung. Beim Wechsel des Thauwetters mit dem Gefrieren oder nach dem anfänglichen Gefrieren findet man an nassen, schmuzigen Stellen häufig die Fufstapfen und sonstigen Vertiefungen mit einer dünnen Eisdecke überzogen, unter welcher das Wasser fehlt. Zerstöfst man diese, so dringt die Luft mit einigem Geräusche, selbst mit einem Knalle ein, ja sie drückt zuweilen so stark auf die Eisfläche, dafs diese mit einem Knalle zerspringt; durch eintretendes Thauwetter füllen sich die Höhlungen wieder mit Wasser. Godard in Lichtenberg's Magaz. Th. I. St. 1. S. 72 leitet dieses von der Verdünnung der Luft in den Räumen des thonigen Bodens ab, in die sich das Wasser hierdurch zurückzieht, nachdem sich eine Eisdecke über demselben gebildet hat und der umgebende nasse Boden durch Gefrieren erhärtet ist; bei eintretender Wärme mufs dann das Wasser zurückkehren. Auch das Ausbleiben einiger Brunnen in kalten Nächten soll aus dieser Ursache erklärbar seyn.

Den mitgetheilten Hypothesen über die Entstehung des Grundeises noch eine neue hinzuzufügen oder überhaupt über eine unter ihnen

504) Das *Quecksilber* galt weg
frierpunctes stets für ein überall ni
erst gegen die Mitte des letzten
desselben bekannt wurde. Eine a
ersten Versuche und Erfahrungen h
sammengestellt, woraus hier das W
der ausführlichen Erzählung von
werden möge. Zuerst sah GMELIN
das Quecksilber seines Thermometer
ken, was offenbar ein Beweis des
der Gewalt des bei ihm herrschend
Metall nie in den Zustand der Festi
es sey hierdurch eine so enorme Käl
auch nachher wiederholt das Nämliche
wirklich gestanden zu seyn schien,
Essig her, womit das Quecksilber g
bedeutenden Schritt weiter kam BRA

---

bestimmt zu entscheiden wage ich in
sämmtlich Manches für sich und stütze
Der Versuch mit Erbsen, welchen GAY-
würde alle Schwierigkeiten heben, seine
setzt indefs voraus, dafs die Steine u
der Flüsse unter den Gefrierpunct des
was aber nicht erwiesen und nach de
sichten über das Verhalten der Wärme
die Steine und hervorragenden Körper
ser und geben sie wieder an dieses ab,
schehn kann, wenn sie selbst wärmer s
früher als sie unter den Gefrierpunct
geneigt, den hervorragenden Steinen
den der Flüsse eine Mitwirkung bei der
schreiben. Das Grundeis wird in der
bildet, und so gut als der Erdboden n
genden Lichtes, namentlich der Sonnen
aus der Strahlung folgen kann, wie ho
steigern mag, können sich auch die g
kühlen, nachdem sie ihre erregte Wär
abgegeben haben. Die Bildung des G
Entstehung des Thaues und des Reifes a

1 Philos. Trans. T. LXXIII. P. II
Physik u. Naturg. Th. III. St. 3 u. 5. S.

2 De admirando frigore artificiali
Comm. Petrop. T. XI. p. 268. Addit. e

das Gefrieren dieses Metalls, indem er am 14. Dec. 1759 ein Thermometer in eine Mischung von Schnee und rauchender Salpetersäure senkte, dasselbe bis — 352° F. herabsinken sah und den Zustand der Erstarrung deutlich erkannte; am 25sten wiederholte er den Versuch, erhielt ein ähnliches Resultat, zerbrach dann aber die Kugel und sah das Quecksilber als weiches Metall, hämmerbar, unelastisch und von dumpfem Klange. Nach der Bekanntwerdung dieser Thatsachen wurde die Aufmerksamkeit der Physiker auf diesen Gegenstand gerichtet, denn man wünschte nun um so mehr den Grad der Kälte zu wissen, wobei das Gestehn erfolgte. Dieser Bestimmung sich nähernd beobachtete Blumenbach[1] am 11ten Jan. 1774 das Gestehn des Quecksilbers in einer Mischung von Schnee und Salmiak, worin ein Weingeistthermometer — 10° F. (— 23°,33 C.) zeigte, welche Messung jedoch nach neueren Untersuchungen nicht richtig seyn kann. Unterdefs hatte die Societät zu London dem Gouverneur Hutchins zu Albany-Fort an der Hudsonsbai den Auftrag gegeben, in der dortigen strengen Kälte Versuche anzustellen, und dieser sah im Januar und Februar 1775 zweimal das Quecksilber wirklich gefrieren[2]. Bicker zu Rotterdam brachte im Jan. 1776 die Kugel des Thermometers bei — 17° C. äufserer Temperatur in eine kaltmachende Mischung und sah das Quecksilber bis — 70° herabsinken, wobei es ohne Zweifel gefroren war, doch glaubte er nur die Oberfläche amalgamartig erstarrt gesehn zu haben, statt dafs Fothergill um dieselbe Zeit bei — 13° C. Lufttemperatur den Versuch wiederholte und sich vom wirklichen Gefrieren des Quecksilbers überzeugte.

Alle diese Versuche wurden mit Quecksilberthermometern angestellt, womit man zugleich den Gefrierpunct des Metalls bestimmen wollte, ohne zu berücksichtigen, dafs dieses wegen der starken Zusammenziehung unmöglich sey, und daher kam es, dafs man nach Braun's Versuchen den Gefrierpunct auf — 352° F. setzte. Es war daher ein sehr vernünftiger Rath, den Cavendish und Black ertheilten, in das zum Gefrieren bestimmte freie Quecksilber ein Weingeistthermometer zu senken und durch dieses den Gefrierpunct zu bestimmen. Dieses

1 Gött. gel. Anzeigen 1774. St. 13.

2 Philos. Trans. T. LXVI. p. 174

geschah in wiederholten Versuchen durch Hutchins[1] zu Albany-Fort im Jahre 1781, woraus sich ergab, dafs der Gefrierpunct nicht unter — 39°,5 C. liegen könne und die beobachteten tieferen Grade als Folge der Zusammenziehung zu betrachten seyen. Eigentlich konnte man dieses schon früher wissen, denn Pallas sah am 6. Dec. 1772 zu Krasnojarsk in Sibirien das Quecksilber durch natürliche Kälte nicht blofs im Thermometer, sondern auch in einem offenen Gefäfse zum festen Metalle erstarren, und als durch einen Nordwestwind das Aufthauen erfolgte, zeigte das Thermometer — 43°,33 C. Ebenso sah auch Laxmann[2] in Sibirien das Quecksilber in natürlicher Kälte gefrieren, worauf Euler und Kraft in Petersburg Versuche anstellten und hieraus folgerten, dafs das Quecksilber gefriere, wenn die Temperatur unter — 37°,5 herabsinke. Wenn es sich aber um eine genaue Bestimmung des Gefrierpunctes des Quecksilbers handelt, welcher dann zugleich der Schmelzpunct desselben seyn müfste, so darf man sich nicht wundern, dafs dieser so verschieden angegeben wird, denn es findet hierbei ohne Zweifel dasjenige statt, was oben (§. 495) bereits erörtert worden ist, sofern dieser Punct in Folge des Freiwerdens der latenten Wärme schwankt und daher höher zu liegen scheint, wenn dem Quecksilber durch natürliche Kälte diese Wärme allmälig entzogen wird, tiefer aber, wenn man dasselbe durch künstliche Mittel schneller zum Gefrieren bringt. So zeigte Guthrie[3], dafs es keineswegs so schwierig sey, bei starker äufserer Kälte das Quecksilber zum Gefrieren zu bringen, und dafs dieses Metall dabei ganz rein seyn könne, was man bis dahin bezweifelt hatte. Als die (oben §. 461) erwähnten Versuche, hauptsächlich von Walker, über die Erzeugung starker Kälte durch Mischungen von Schnee mit Salzen und Säuren bekannt und vielfach wiederholt wurden, gehörte das Gefrieren des Quecksilbers zu den gewöhnlich erzielten Resultaten, woran man die Kraft der angewandten Mischungen zu messen suchte, und bei den besseren gelang dieser Versuch in der Regel ohne grofse Schwierigkeiten selbst in

1 Philos. Trans. T. LXXIII. p. 303.
2 Nov. Acta Petrop. T. III. p. 60.
3 Nouvelles expériences pour servir à determiner le vrai point de congélation du mercure. Petersb. 1785. 4.

einer Umgebung von mittlerer Temperatur, ohne jedoch eine scharfe Bestimmung des eigentlichen Gefrierpunctes zu geben. Nach den hierdurch erhaltenen Erfahrungen setzt man den Gefrierpunct des Quecksilbers auf — 39° C., und wenn Pouillet[1] ihn vermittelst seines thermomagnetischen Apparates bei — 40°,5 fand, so weicht dieses hiervon nicht bedeutend ab, dürfte aber wohl gar die richtigere Bestimmung seyn, da der Weingeist sich mit der abnehmenden Temperatur vermindert ausdehnt, mithin die tieferen Grade des Weingeistthermometers stets beträchtlich zu hoch sind. Vergleichen wir hiermit die oben erwähnte höchste Angabe von L. Euler und Kraft, wonach mindestens — 37°,5 Kälte zum Gefrieren des Quecksilbers erfordert werden, so wäre hiernach der Gefrierpunct des Quecksilbers zwischen — 37°,5 und — 39° C. des uncorrigirten Weingeistthermometers bestimmt. Der geringe Unterschied von 1°,5 C. könnte leicht als eine Folge der gröſseren oder geringeren Reinheit des Weingeistes in den gebrauchten Thermometern erscheinen, allein es ist auſserdem eine in dieser Beziehung höchst merkwürdige Erfahrung vorhanden. Ross[2], dem bei seinem Winteraufenthalte im nordamericanischen Polarmeere die tiefsten Grade der natürlichen Kälte zu Gebote standen, lieſs zur Vermeidung jeder Verunreinigung das Quecksilber in hölzernen Gefäſsen gefrieren und fand dabei, daſs das Gestehn des Quecksilbers früher erfolgte, wenn die nämliche Masse wiederholt zum Gefrieren gebracht wurde; das frische nämlich gestand bei — 39° C., das öfter gefrorene bei — 35° C. des Weingeistthermometers.

505) Mit weit geringerer Schärfe lassen sich die Gefrierpuncte der übrigen Flüssigkeiten angeben, denn da sie, auſser dem *Brom*, alle zusammengesetzt sind und man sie daher nicht stets von gleicher Reinheit anwendet, so bleibt bei ihnen diese Bestimmung leicht unsicher. Vorzugsweise galt der reine Alkohol stets als eine jeder künstlichen Kälte widerstehende Flüssigkeit, und es muſste daher auffallen, als Charles Hutton[3] behauptete und in einer öffentlichen Vorlesung in der

---

1 Compt. rend. 1837. T. I. p. 513. Poggendorff's Ann. XLI. 151.

2 Narrative of a second Voyage in search of the North-West Passage cet. Lond. 1835. 4. App. p. CIX.

3 G. XLVI. 119. Annals of Philos. T. I. p. 221.

Versammlung des Edinburger Institutes wiederholte, dafs es ihm gelungen sey, nach Richter's Methode bereiteten absoluten Alkohol von 0,798 spec. Gewicht bei 16°,67 C., ja sogar von 0,784 specifischen Gewicht bei 19° C. äufserer Temperatur zum Gefrieren zu bringen. Das Verfahren, wodurch ihm dieses gelang und mittelst dessen er sogar alle Gase gefrieren zu machen hoffte, ist nicht angegeben, es läfst sich aber nicht leugnen, dafs Einiges von seiner Erzählung wahrhaft abenteuerlich klingt, z. B. dafs er einzelne Stücke des gefrorenen Alkohols zusammengelöthet habe, wozu er sich einer Stange gefrorenen Quecksilbers oder eines sehr erkalteten Strohhalmes bediente, zweier in Beziehung auf diesen Zweck so heterogener Körper, dafs man sich eines Lächelns über ihre Zusammenstellung nicht enthalten kann. Es gehörte aber ein kaum begreiflicher Grad von Dreistigkeit auf seiner Seite und von unbedingtem Vertrauen auf der Seite seiner Zuhörer dazu, dafs Letztere sich alle die wunderbaren Resultate vortragen liefsen, die Ersterer erhalten zu haben behauptete, ohne die drei Bestandtheile, aus denen der absolute Alkohol bestehn sollte und die er sich zu den weiteren Versuchen in gröfseren Quantitäten verschafft zu haben versicherte, auch nur einmal sich vorzeigen zu lassen. Gegenwärtig, nachdem durch die feste Kohlensäure weit tiefere Kältegrade erzeugt werden, als welche Hutton mit den ihm zu Gebote stehenden Mitteln erreichen konnte, ist genugsam erwiesen worden, dafs absoluter Alkohol sich zwar verdickt und also ohne Zweifel auch gefriert, allein in der bis jetzt erreichten Kälte nicht vollständig, und auf jeden Fall findet die behauptete Scheidung in drei verschiedene Flüssigkeiten nicht statt. Dagegen ergiebt sich aus der Zusammenstellung verschiedener Erfahrungen, dafs der Alkohol durch die Einwirkung der Kälte dickflüssiger, gleichsam ölartig wird, und zwar um so leichter, je gröfser der in ihm enthaltene Antheil Wasser ist. Hierbei müssen wir annehmen, dafs entweder die Kälte einen Theil des Alkohols ausscheidet und dieser die feinen Eistheilchen des Wassers in sich mechanisch verbreitet enthält, oder dafs eine solche Trennung nicht statt findet, vielmehr die unveränderte homogene Masse sich verdichtet und zuletzt völlig gesteht. Die erstere Hypothese ist die bei weitem wahrscheinlichere, denn es ist eine bekannte Sache, dafs durch das Gefrieren des Weines die mehr geistigen

Theile von dem in Eis verwandelten Wasser getrennt werden können. Aus leicht begreiflichen Gründen findet diese eigentliche Trennung des Wassers als Eis von den geistigeren Theilen bei geistigern Mischungen nicht statt, wohl aber eine Verminderung der Fluidität und ein höherer Grad von Dickflüssigkeit. Gewöhnlichen käuflichen Spiritus, dessen man sich zum Verbrennen bedient, sah ich selbst[1] bei — 28° C. sich ölartig verdicken, und PARRY beobachtete bei seinem Winteraufenthalte auf der Insel Melville, daſs stärkster Cognac in einer Kälte von — 45° C., die auf kurze Zeit bis — 48°,5 herabging, auf dem Verdecke des Schiffes in offenen Gefäſsen Syrupsdicke annahm. Diese Verdickung folgt schon aus der starken Zusammenziehung des absoluten Alkohols durch die Einwirkung intensiver Kälte, denn nach PARRY's[2] Messungen mit Kugeln an Thermometerröhren zieht sich Alkohol von 0,8156 spec. Gewicht bei 16°,44 C. zwischen 9°,78 und — 38°,5 um 0,000894 seines Volumens für 1° C. zusammen, hydrostatische Wägungen dagegen gaben diese Zusammenziehung für 1° C. zwischen 16°,44 und — 13°,5 beträchtlich gröſser, nämlich = 0,001022, was mit den oben (§. 488) gegebenen Bestimmungen so nahe übereinstimmt, als von unter ganz verschiedenen Bedingungen angestellten Versuchen zu erwarten steht, da noch obendrein die der englischen Physiker nicht durch Rechnung corrigirt sind[3]. MITCHEL[4] erzeugte mittelst fester Kohlensäure die tiefsten Kältegrade und fand, daſs Alkohol von 0,798 spec. Gewichte bei — 90° C. dem Oele, bei 98°,9 dem geschmolzenen Wachse glich.

506) Die Gefrierpuncte oder Schmelzpuncte der übrigen, mehr oder minder leicht gestehenden Flüssigkeiten sind in der unten mitgetheilten Tabelle, so weit sie bis jetzt bekannt wurden, aufgenommen, über einige derselben ist aber noch Folgendes zu bemerken. Die verschiedenen *Oele* gestehen bei sehr

---

1 Sur la dilatation de l'alcool absolu cet. in Mém. de l'Acad. de Petersb. 1834. p. 16.

2 Appendix to Capt. PARRY's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 260.

3 Die Tabelle §. 488 giebt für 9° C. eine Zusammenziehung von 0,001069 und für — 38° dieselbe = 0,000686, also im Mittel = 0,000878.

4 Silliman Amer. Journ. of Sc. and Arts T. XXXV. p. 353.

ungleichen Temperaturen, gemeines
Grade über dem Gefrierpuncte des
Oele theilen die Eigenschaft der thie
ses und ähnlicher Körper, dafs sie
unter dem Puncte ihres allmäligen un
stehns zusammenziehn. Feines *Man*
bei — 9°,45 C., und erhärtete durch
dafs eine bei — 34°,45 daraus gefor
geschossen wurde. Nach den Vers
verschiedener Flüssigkeiten in tiefer,
künstlicher Kälte, welche PARRY[2] a
stellte, gefriert *Sassafrasöl* in offener
gänzlich, in eine Thermometerkuge
aber bei — 40° C. noch nicht fest.
Oel in eine Temperatur von — 23
von glänzend gelber Farbe flüssig, u
giefst, so besteht der Rest aus lang
der Form rechtwinkliger Parallelogra
Temperatur aufbewahrt nicht zerfliefs
Theil gefriert durch die angegebene
Nadeln. Dabei bemerkte PARRY no
genthümlichkeit. Dem Lichte ausg
Antheil in einer flachen Schale schon
aber noch nicht bei — 42°,8. Oft
Temperatur mehrere Tage flüssig,
beim Zutritt des Lichtes. Zur Nach
Nordlichte wurde diese Substanz dic
Krystallisation, aber diese erfolgte
Zwielichtes. Bei *Schwefeläther* wi
dafs schon bei — 24°,5 ein Theil g
er das Ganze noch nicht bei — 42°
Man wird hiernach veranlafst zu ver
gebrauchte Schwefeläther verunreinigt
CHELL[3] versichert, dafs der von ihm
liche Kälte mittelst fester Kohlensäu

1 Narrative of a second Voyage. Ap
2 Appendix to Capt. PARRY's second
p. 260.
3 A. o. a. O.

ganz unverändert geblieben sey. *Schwefelkohlenstoff* veränderte sich nach PARRY nicht in natürlicher Kälte von — 42°,8 und auch durch künstliche Kälte konnte er keine Veränderung desselben hervorbringen. Ebendieses war der Fall bei *Chlorzinn; Chlorphosphor* dagegen wurde bei — 40° dickflüssig, wie Oel, und gefror bei — 43°,9. Die *schweflige Säure* gefror nach MITCHELL bei — 78°,9 und der gefrorne Antheil fiel in dem flüssigen nieder. Im *Salpeteräther* zeigten sich nach PARRY in natürlicher Kälte von — 43°,33 sehr feine Flocken, wie Federn, dann nahm er aber in einer durch Alkohol und Schnee erzeugten künstlichen Kälte die Consistenz des Oeles an und gefror gänzlich bei ungefähr — 51° bis — 53° C. Concentrirte *Salpetersäure* gefror durch künstliche Kältemischung bei ungefähr — 45°,5, verdünnte von 1,26 spec. Gewicht bei — 28°,9. Concentrirte Schwefelsäure gefror erst bei — 40°, in zunehmender Wärme zerflofs sie aber erst wieder bei — 37°,2; mit der Hälfte Wasser verdünnt gestand sie zum Theil bei — 32°,2, gänzlich aber bei — 34°,5.

507) Es läfst sich hier noch eine in naher Verbindung stehende Reihe von Versuchen anknüpfen, welche PARRY zugleich mit den erwähnten Kälteversuchen anstellte, da ihm die zu Melville herrschende ausnehmend tiefe Temperatur so vortreffliche Hülfsmittel hierzu darbot. Diese bezogen sich auf die Frage, bei welchen Kältegraden die beim Gefrierpuncte des Wassers noch expansiblen Gase zur tropfbaren Flüssigkeit übergehn. *Schwefligsaures Gas* verdichtete sich bei — 32°,2 zu einer weifsen Flüssigkeit, die Verdichtung nahm zu, als die Erkältung bis — 40° herabkam, und die entstandene Flüssigkeit flofs tropfenweise an den Wandungen des Gefäfses herab, auch wurden einige Tropfen einer glänzenden orangefarbenen Flüssigkeit erzeugt. Diese Resultate sind auffallend, denn da der Siedepunct dieser Säure bei — 10° C. liegt, so mufs sie auch unter dieser Temperatur tropfbar-flüssig werden, ohne der so intensiven Kälte von — 32°2 zu bedürfen, es sey denn dafs sie bei ihrer gewöhnlichen Bereitung einem stärkeren Drucke ausgesetzt worden wäre, welcher ihren Uebergang zum tropfbar-flüssigen Zustande beschleunigen könnte. Da nicht angegeben ist, auf welche Weise die von PARRY angewandte Säure bereitet wurde, so bleibt ungewifs, ob dieselbe allezeit von gleicher Beschaffenheit ist, jenachdem man verschiedene Methoden der

Bereitung wählt. *Salpetrigsaures*
los und verwandelte sich in eine g
bei — 40° aber bildeten sich einig
Mitwirkung des Lichtes[1] wird das
sigkeit verwandelt, gefriert aber
Ammoniakgas fing bei — 40° C. an
gelang es auch, *Salpetergas* (*nitr*
von — 40° bis — 42°,8 tropfbar—
zeugte Flüssigkeit war zähe und
derselben einige kleine Krystalle,
innern Wandungen des Gefäfses ha
der Aufsenseite mit einem seidenen
gestofsen wurden. Den höchsten K
derstanden *kieselhaltiges* und *reine*
gendes Gas, *salpetersaures Gas*,
nige Krystalle zeigten, *Sauerstoffga*
zur Flüssigkeit gebracht, aber ver
indem sich einige weifsliche Krysta
ten[2], *Chlor* wurde schon von — 32
zu machen und zum Krystallisiren z
pression nicht bei — 43° C. *Schw*
Zersetzung, indem ein dunkelfarb
dem Boden ruhte, der durch steig
schwand, auch wurden an den obe
einige Krystalle gebildet, und mit d
Flecke ab. Man mufs jenen Rei
dafs sie in so grimmiger Kälte auf
senschaft durch diese interessanten

Beim weiteren Verfolgen der
zens und Gefrierens der verschied
Allgemeinen, dafs zunehmende W
stigkeit in den der tropfbaren Flüs
mag, allein so wie wir gesehn haben
sam als Grenzscheidung angenomm

---

1 Dieses bezieht sich vermuthlich
angegebene eigenthümliche Verhalten d

2 Wie man jetzt weifs, war diese
säure, wie sie von Thilorier später du
Verdampfung dargestellt worden ist. B
abhängig von einander gemacht.

zenden Eises einige Körper dem Einflusse der höchsten, bis jetzt erreichten Kältegrade widerstehn, gewahren wir auch, dafs oberhalb desselben andere durch die Einwirkung der stärksten Hitze nicht in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit übergehn. Ueber das Schmelzen der Körper in höheren Wärmegraden, als wobei das Eis flüssig wird, sind zwar ungleich mehr Erfahrungen vorhanden, als über das Gefrieren unterhalb dieser Normaltemperatur, weil es viel leichter ist, hohe Grade der Hitze, als intensive Kälte hervorzubringen, einer genauen Bestimmung der Temperaturen aber, wobei nach beiden Seiten hin das Schmelzen eintritt, steht das gleiche Hindernifs entgegen, dafs wir zwar für mittlere Wärmegrade hinlänglich genaue Thermometer besitzen, diese uns aber für die höchsten Hitzegrade noch mehr mangeln oder mindestens schwieriger zu gebrauchen sind, als die für die tiefsten Kältegrade. Zum Glück sind in den neuesten Zeiten auch hierin bedeutende Fortschritte gemacht worden, wie aus dem Verfolge der Untersuchungen hervorgehn wird. Ehe wir aber die verschiedenen höher liegenden Schmelzpuncte aufsuchen, mögen erst einige allgemeine Betrachtungen vorausgehn.

508) Sofern der Theorie nach die Wärme als repulsives Princip gilt, insbesondere wenn der verschiedene Aggregatzustand der Körper nach Laplace als die Folge des stabilen Gleichgewichtes der beiden in stetem Conflicte befindlichen Molecularkräfte, der Attraction und der Repulsion, betrachtet wird, folgt nothwendig, dafs Erhöhung der Temperatur zuerst Vergröfserung des Volumens und dann den Uebergang zur Flüssigkeit bei festen Körpern und zur Dampfform bei flüssigen herbeiführen müsse, und eben die Allgemeinheit dieses Verhaltens ist die Grundlage der hierauf gebaueten Hypothese, wonach die *Wärme* als *repulsive Kraft* oder als deren Träger erscheint. Um so auffallender mufs es aber seyn, wenn sich Ausnahmen von dieser Regel finden, ja die ganze Hypothese müfste als nichtig erscheinen, wenn es deren wirklich gäbe, weil hieraus hervorgehn würde, dafs die Wärme nicht allgemein als repulsives Princip gelten könnte, wenn sie sich in einigen Fällen nicht als solches zeigte. Wirklich kommen aber solche Abweichungen vor, allein sie sind nur scheinbar und vermögen das allgemeine Gesetz nicht umzustofsen, weswegen wir dasselbe bisher stets als gültig betrachteten. Zuerst giebt

es verschiedene Salze, namentlich
welche im Wasser gelöst in höheren
werden und niederfallen, obgleich sie
lig klare Lösungen zeigten. Diese
grofse Zahl derselben hier namhaft
angemessen seyn, vielmehr genügt es
bemerken, dafs hierbei nicht die
Wärme auf die der Anziehung folge
unmittelbar in Betrachtung kommt, s
dificirten Bedingungen. Der organis
gesetzten Salze nicht zu gedenken
mindestens auf doppelt binären Verbi
kann daher die vier vereinten einfach
verbinden, dafs in den neuen Verbin
Uebergewicht über die Repulsivkraft s
me erhält; kommt obendrein noch
Lösungsmittel hinzu, so ist leicht
durch den Einflufs erhöhter Wärme
dungen minder löslich sind, als di
durch verminderte Temperatur wiede
läuterung der Sache kann eine bel
Wenn man salzsauren Kalk und verd
im Zustande vollständiger Liquidität,
Wärme ausgeschieden, und dennoch
weil die Verbindung der Schwefelsäu
viel weniger lösbares Salz (Gyps) bil
verdünnte Chlorwasserstoffsäure mecha

Um einige Thatsachen hier anz
was Osann[1] über das vorliegende
Nach ihm nahm Lassone[2] zuerst di
der durch Wärme verminderten Lösba
eine siedend heifse Solution von Sei
brachte, wodurch die Flüssigkeit di
beim Filtriren aber klar durch das F
Filtrat in der Siedehitze abermals g
sich wieder völlig klar zeigte. Als L

---

1 G. LXIX. 283.

2 Mém. de l'Acad. 1773. p. 214. C
S. 109.

Säure des Weinsteins mittelst Kreide neutralisirte und dann dieses Gemisch mit Kalilauge erhitzte, trübte sich die Masse beim Erhitzen und löste sich beim Erkalten wieder auf. Gay-Lussac[1] erwähnt, dafs essigsaure Thonerde, mit einigen von ihm genannten Salzen gemischt, in der Hitze gerinnt, indem die Thonerde ausgeschieden wird, beim Erkalten wird letztere aber wieder aufgelöst. Osann fand durch eigene Versuche Lassone's Erfahrungen bestätigt und entdeckte aufserdem das nämliche Verhalten bei den Verbindungen des Kalkes mit neutralem und mit saurem weinsteinsaurem Natron; als er aber weinsteinsauren Kalk im Ueberschufs mit Kalilauge kochte, so dafs beim Filtriren der erkalteten Flüssigkeit ein Theil unaufgelöster weinsteinsaurer Kalk zurückblieb, gerann diese Flüssigkeit beim Erhitzen so, dafs man das sie enthaltende Glas umkehren konnte. Ebendieses fand statt bei einer Verbindung von weinsteinsaurem Kalk mit Natronlauge, und der weinsteinsaure Kalk ist daher derjenige Körper, welcher das angegebene abnorme Verhalten zeigt, doch findet es auch bei weinsteinsaurem Strontian mit Kali- oder Natronlauge statt. Kalk in einer Auflösung von Zucker gekocht und nach gänzlichem Erkalten filtrirt giebt gleichfalls eine in der Hitze gerinnende Flüssigkeit[2]. Graham[3] giebt die Ursache dieser Anomalie, die er, aufser bei den Kalkhydraten, auch bei den Lösungen der neutralen phosphorsauren Magnesia (durch Niederschlagung einer Lösung des phosphorsauren Natrons mittelst schwefelsauren Magnesiumoxyds bereitet) wahrnahm, etwas näher an. Hiernach findet dieses Verhalten blofs bei solchen Hydraten statt, welche eine schwache Verwandtschaft zu dem aufgenommenen Wasser haben, die dann durch die Wärme noch mehr geschwächt wird. Auch die Kieselerde ist getrocknet im Wasser unlöslich, als Hydrat aber löst sie sich in demselben allerdings auf.

509) Die hier angegebenen Thatsachen gehören zunächst in das Gebiet der Chemie, ganz eigentlich der Physik angehörig

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXXIV. p. 195. Schweigger's Journ. V. 48.

2 Lowitz beobachtete dieses zuerst; s. Crell's chem. Ann. Th. I. S. 347.

3 Annals of Philos. 1827. Juli. Wiener Zeitschrift Th. III. S. 493.

ist aber ein anderes Phänomen, welc
für verwandt oder gar identisch hä
davon verschieden ist. Auch der Sc
durch vermehrte Wärme aus dem f
Flüssigkeit überzugehn; wird er da
zeigt er sich in einem hohen Grade
das ihn enthaltende Gefäſs umkehren
nur an den Rändern herabflieſst. Lä
ren Temperatur erkalten, so tritt der
keit wieder ein, und ebendieses ist
Temperatur, in welcher er aus dem
den der Zähigkeit übergeht, noch m
dann statt findende Fluidität anfangs
früher bei niedrigerer Temperatur e
wachsender Hitze tritt das Sieden
schnell die Sublimation. Um diese
zunehmen, darf man nur Schwefel in
am untern Ende verschlossene Glas
Länge bringen und diese über Kohlen
wird bald dünnflüssig und zwar in s
man ihn lange genug in der zu die
chen Temperatur erhält. Steigert m
delt sich die gelbliche klare Flüssigke
mend dunkler werdende, röthlich bra
zuletzt gänzlich starre, die aber durc
me ihre vorige Fluidität wieder erhäl
kaltung der Zustand der Festigkeit wi
diesen Wechsel nach Belieben oft wi
gefunden, daſs der mehrmals durch
brachte Schwefel seine hellgelbe (sch
und eine mehr schmuzig weiſse, ins
nimmt. Den Schwefel nach dem G
durch noch weiter erhöhte Tempera
machen ist nicht so leicht, weil die
seyn muſs und dann bald Sublimation

Dieses merkwürdige, jetzt allge
Verhalten wurde zuerst von Gehlen
nommen[1], nachher aber von sehr viel

---

1 Gehlen's Journ. der Chem., Phys. u

Dumas[1] die den verschiedenen Zuständen zugehörigen Wärmegrade angegeben hat. Nach diesem krystallisirt der flüssige Schwefel bei 108° C., welches dann zugleich auch sein Schmelzpunct seyn muſs, und hat bei 110° im Zustande vollkommener Flüssigkeit eine hellgelbe Farbe, die bei fortdauernder Flüssigkeit und einer Temperatur von 140° ins Dunkelgelbe übergeht. Bei 170° wird die Flüssigkeit dick und orangegelb, nimmt bis 190° an Dicke zu, wird bei 220° zähe und röthlich, von 230° bis 260° im Zustande groſser Zähigkeit braunroth[2]. Nach Mitscherlich[3] ist der Schmelzpunct des Schwefels bei 111° zu setzen; in einer etwas vermehrten Temperatur zeigt er sich vollkommen flüssig, klar und gelb, wie Bernstein; von 160° an beginnt er dickflüssig und braun zu werden und ist bis etwas über 200° erhitzt so dickflüssig, daſs man das Gefäſs, worin er sich befindet, umkehren kann, ohne daſs er herausflieſst. Setzt man die Erhitzung noch weiter, bis zu 316° fort, so siedet der flüssige Schwefel. Die Thatsache selbst ist hiermit genügend festgestellt, und es dürfte nicht eben nöthig seyn, den Umfang derselben noch zu erweitern; allein die Erklärung eines so ungewöhnlichen Verhaltens ist ebenso wichtig als schwierig. Lieſse sich gar kein Grund finden, auf den man diese Abweichung von der allgemeinen Regel, wonach die zunehmende Wärme die Molecüle der Körper stets weiter von einander entfernt, zurückzuführen vermöchte, so könnte die Wärme selbst nicht als eigentlich repulsive Potenz erscheinen, weil ihr, wenn auch nur in diesem einzigen Falle, dieser ihr eigentliches Wesen bezeichnende Charakter fehlte. Was zur Erklärung der oben genannten Erscheinungen angeführt worden ist, leidet auf den Schwefel keine unmittelbare Anwendung, denn jene Körper können leicht dadurch unlöslicher werden, daſs die Wärme andere, als die früher vorhandenen, im Wasser weniger lösbare Verbindungen erzeugt; von einer leichteren oder schwereren Lösbarkeit des Schwefels in einem heterogenen Menstruum ist aber nicht die Rede, sondern von

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 83. Poggendorff's Ann. XI. 166.

2 Bei den angegebenen Versuchen mit Schwefel in einer Glasröhre gewahrt man bloſs einen Uebergang der hellgelben Flüssigkeit in eine zunehmend dunkler werdende röthlich-braune.

3 Lehrbuch der Chemie. Berlin 1831. Bd. I. S. 40.

dem beginnenden und mit Zunahme der Temperatur verminderten Schmelzen desselben. Die Aufgabe wird noch schwieriger dadurch, daſs der Schwefel, wenn man diese Unterbrechung abrechnet, wie alle andere Körper durch den Einfluſs der Wärme aus der Starrheit in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit und von diesem zur Dampfform übergeht.

Eine eigentliche und zugleich genügende Erklärung ist, so viel ich weiſs, noch nicht gegeben worden, auch dürfte dieselbe vor der Hand, und ohne eine Vermehrung der bis jetzt bekannten Thatsachen, nicht möglich seyn; inzwischen können wir das Phänomen mit andern auf eine solche Weise in Verbindung bringen, daſs es uns nicht zwingt, das wichtige Gesetz vom stabilen Gleichgewichte der beiden Kräfte, die den verschiedenen Aggregatzustand der Körper bedingen und für deren eine wir die Wärme halten, oder mindestens den Satz, daſs die Wärme ihrer wachsenden Intensität proportional die Molecüle der Körper stets weiter von einander entfernt, deswegen aufzugeben. Nach Schweigger[1] liegt die Ursache in der *Krystall-Elektricität*, wogegen Osann[2] mit Recht erinnert, man wisse eigentlich nicht recht, was Krystall-Elektricität sey, ob sie hierbei statt finde, und noch viel weniger, wie sie diese specielle Wirkung hervorzubrigen vermöge. Letzterer setzt sie vielmehr mit den analogen Erscheinungen bei den Kalksalzen in Verbindung und hält deswegen den Schwefel für einen zusammengesetzten Körper; allein zu dieser Annahme ist kein genügender Grund vorhanden, vielmehr sagt Mitscherlich[3]: „da der zähe, braune Schwefel chemisch „durchaus nicht vom spröden Schwefel verschieden ist, so „folgt, daſs eine und dieselbe Substanz, wenn sie verschie„dentlich behandelt wird, ganz verschiedene Eigenschaften ha„ben könne.“ Dieser Satz, weiter entwickelt, bringt uns der wahren Erklärung mindestens sehr nahe. Der Schwefel ist nach einer Menge von Erfahrungen ein Körper, dessen Molecüle einer veränderlichen Lage gegen einander fähig sind. Von diesen verschiedenen Lagen gegen einander überzeugt uns sein optisches Verhalten, insofern seine Farbe bei den ungleichen

---

1 Dessen Journ. Th. V. S. 57. Th. VIII. S. 294.
2 G. LXIX. 296. Vergl. Poggendorff's Ann. XXXI. 33.
3 A. a. O. S. 42.

Flüssigkeitsgraden sich ändert. Noch mehr können wir uns hiervon überzeugen, sobald wir die Eigenschaften berücksichtigen, die derselbe zeigt, wenn er in den wechselnden Flüssigkeitszuständen plötzlich erkaltet und seine Molecüle somit ihre dermalige eigenthümliche gegenseitige Lage, mindestens größtentheils, beibehalten. Diesem analog ist die ungleiche Aggregation der Molecüle verschiedener Körper nach schnellem und langsamem Erkalten, worauf der bleibende Zustand ihrer Sprödigkeit, Elasticität und Biegsamkeit beruht. Nach Dumas[1] wird der bei 110° flüssige Schwefel nach plötzlichem Erkalten sehr brüchig und gelb, und dieses ist bis 140° der Fall, obgleich er dann schon dunkler gelb wird. Bei 170° zeigt er sich dicker und orangegelb, nach schnellem Erkalten aber weniger brüchig und gelb. Plötzlich erkaltet bei 190°, wenn er dickflüssiger und orangefarben war, behält er zwar die gelbe Farbe, ist aber anfangs weich und durchsichtig und wird später von selbst brüchig und undurchsichtig. Steigt die Erhitzung bis 220°, wobei er zähe und röthlich erscheint, so ist die schnell erkaltete Masse bernsteinfarben, weich und durchsichtig. Von 230° bis 260° erhitzt zeigt sich die schnell erkaltete, sehr zähe und braunrothe Masse sehr weich, durchsichtig und röthlich; beim Siedepuncte endlich, welchen Mitscherlich bei 316° setzt, zeigt er sich von braunrother Farbe und minder zähe, nach schnellem Erkalten aber sehr weich, durchsichtig und braunroth. Hieraus folgt schon nothwendig, daſs die Molecüle des Schwefels bei verschiedenen Wärmegraden eine verschiedene gegenseitige Lage gegen einander annehmen müssen, die sie beim schnellen Erkalten, wenn man die geschmolzene Masse in kleinen Theilen, z. B. wenn er flüssig ist, als feinen Strahl, in vieles kaltes Wasser bringt, ganz oder wenig verändert beibehalten. Wären die angeführten Thatsachen nicht genügend, um dieses zu beweisen, so würde es schon unverkennbar aus dem Umstande hervorgehn, daſs der Schwefel zwei Krystallformen hat. Nach Mitscherlich's[2] Untersuchungen läſst sich die eine, welche dem natürlichen Schwefel eigen ist und sich auch bei dem aus dem Schwefelkohlenstoff krystallisirten zeigt,

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 83. Poggendorff's Ann. XI. 166.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXIV. p. 264.

auf ein Oktaëder mit rhombischer Basis zurückführen und gehört also zum zwei- und zweigliedrigen Systeme, die andere, welche man bei dem geschmolzenen und langsam erstarrten Schwefel wahrnimmt, hat ein schiefes Prisma mit rhombischer Basis zur Grundform und würde also nach Weiss zum zwei- und eingliedrigen Systeme gehören. Die Richtigkeit dieser Thatsachen geht mit Sicherheit aus den genauen durch Rudberg[1] angestellten Messungen hervor, wodurch die den beiden Formen zugehörigen Winkel aufgefunden wurden; und wenn man hinzunimmt, dafs der unter verschiedenen Bedingungen erstarrte Schwefel, sich selbst überlassen, allmälig Farbe und Härte ändert, mithin zur eigentlichen oder veränderten Krystallisation übergeht, so läfst sich mit dieser Eigenthümlichkeit auch diejenige leicht in Verbindung bringen, die er rücksichtlich seines Schmelzens zeigt, ohne hierin einen Beweis gegen die Zulässigkeit des allgemeinen, über das Verhalten der Wärme aufgestellten Gesetzes zu finden. Als Talbot[2] eine kleine Menge Schwefel zwischen zwei sich nahe berührenden Glasscheiben über einer Weingeistlampe erhitzte, entfernte sich der Schwefel von der untern Platte und setzte sich an der oberen in vielen Tausenden kleiner Massen an. Wurden die gröfsten der durchsichtigen Partikelchen mit dem Mikroskope betrachtet, so erschienen sie als planconvex, mit der flachen Seite am Glase haftend, und waren so genau sphärisch, dafs selbst die kleineren das Bild eines entfernten Lichtes in ihrem Brennpuncte darstellten; nach einigen Stunden aber hatten zwar die kleineren diese ihre Durchsichtigkeit beibehalten, die gröfseren aber waren in Folge einer vorgegangenen Veränderung der gegenseitigen Lage ihrer Molecüle undurchsichtig geworden. Eine solche, selbst nach dem Erkalten im Innern vorgehende Veränderung stimmt auch mit den durch Mitscherlich und Andere[3] gemachten Beobachtungen überein[4].

---

1 Poggendorff's Ann. II. 423.

2 London and Edinb. Philos. Mag. N. XLVI. p. 189.

3 Vergl. Philos. Magaz. and Annals cet. N. Ser. T. III. p. 144 u. 152.

4 Um die Zahl der Eigenthümlichkeiten im Verhalten des Schwefels noch zu vermehren, verweisen wir auf die oben §. 491 mitgetheilte Beobachtung von Despretz, wonach der flüssige Schwefel der allgemeinen Regel bei tropfbaren Flüssigkeiten zuwider mit zunehmen-

510) Eine zweite allgemeine, auf das Schmelzen und Gefrieren der verschiedenen Körper sich beziehende Bemerkung betrifft den Unterschied der zum Zerfliefsen der Körper erforderlichen Temperaturen, jenachdem dieselben einfach oder zusammengesetzt sind. Nach theoretischen Gründen sollte man sich für berechtigt halten zu schliefsen, dafs der Schmelzpunct zusammengesetzter Körper einer Temperatur zugehöre, welche die mittlere zwischen den beiden ist, wobei die einzelnen Körper schmelzen, oder dafs der leichter schmelzbare Bestandtheil diese seine Eigenschaft an den mit ihm verbundenen übertrage, allein es darf als allgemeine Regel gelten, dafs alle zusammengesetzte Körper bei einer niedrigern Temperatur schmelzen, als welche dem Mittel ihrer beiden Schmelzpuncte zugehört, ja dafs sogar der Schmelzpunct der Zusammensetzung tiefer liegt, als der dem leichtflüssigsten Bestandtheile zugehörige. In den älteren Vorträgen über Physik pflegte man zwei in das Gebiet der Schmelzungen gehörige Apparate zu zeigen, die neuerdings ganz in Vergessenheit gerathen sind und die ich gelegentlich erwähne, falls sie künftig einmal wieder hervorgehoben werden sollten; der eine heifst das *Blut des heiligen Januarius*, der andere das *Wetterparoskop*. Das erstere[1] besteht aus einer Zusammensetzung von Wallrath (*sperma ceti*) und Terpentinspiritus, mit Ochsenzungenwurzel roth gefärbt, welche in eine Glasröhre von geeigneter Gröfse gebracht und diese dann hermetisch verschlossen wird. Man stellt die Mischung so her, dafs sie bei etwas mehr als mittlerer Temperatur flüssig ist, in etwas geringerer Wärme aber gesteht; sie ist daher im gewöhnlichen Zustande fest, wird aber durch die Wärme der Hand flüssig und hat bei hinlänglich dunkler Farbe einige Aehnlichkeit mit dem Blute, unterscheidet sich aber von dem

der Hitze sich abnehmend ausdehnt. Allerdings führen die Formeln zur Berechnung der Volumensvermehrung zu einer gleichen Anomalie, allein factisch ist dieselbe noch bei keiner andern Flüssigkeit, als beim Schwefel, nachgewiesen worden und steht daher wohl unfehlbar mit den übrigen Anomalieen dieses eigenthümlichen Körpers in Verbindung.

1 Ungeachtet ich in diesem Augenblicke den Apparat nirgends angegeben finden kann, so erinnere ich mich doch sehr gut, dafs ich den Versuch in Lichtenberg's Vorlesungen gesehn und auch Glasröhren mit dieser Mischung verfertigt habe.

ächten in Neapel dadurch, dafs es ruh
schäumend aus dem Glase emporstei
besteht aus einer Auflösung des gerei
absolutem Alkohol. Die Auflösung w
haltig an Kampfer, je mehr Wasse
ist, und hat die Eigenthümlichkeit, d
Temperatur der Kampfer in zusammen
artig oder vielmehr dem Farrenkrau
wird. Bringt man daher die Auflösun
und schmelzt man diese an beiden En
aufhängen, und bei eintretender Tem
die Ausscheidung erfolgen. Da die A
in so viel höheren Temperaturen eintr
gelöst ist, so kann man mehrere Ap
gen, und wenn man dann diejenigen V
die Ausscheidung bei den einzelnen
aus der beginnenden Krystallisation a
ratur der Umgebung schliefsen. Hier
rate als unvollkommene Thermometer

Gegenwärtig dient hauptsächlich
gemisch, das sogenannte *Rose'sche Me*
Beweis, wie sehr der Schmelzpunct d
bindung mit einander herabgebracht wi
woraus dasselbe besteht, schmelzen
Temperatur über dem Siedepuncte de
aber schon unter demselben[2]. Die Sa
bekannt gewesen seyn, denn die Bl
zum Löthen einer Verbindung aus Zin
des wohlfeileren Preises des letzteren
Mischung leichter schmilzt, als selbst

1 Lichtenberg (vermischte Schriften
dafs Romieu im Jahre 1746 zuerst das Au
aus verdünntem Alkohol wahrgenommen un
(daraus in Hamburger Mag. Th. XI. S. 78)
Erfinder dieses Apparates gilt Joseph Bar
waren Wetterparoskope sehr beliebt und
Was Lichtenberg gegen die Wortbildung
es nicht Wetterbaroskop, sondern Paroskop
vorherverkündigt.

2 Vergleiche Rudberg über das Erka
Metalle, oben §. 457.

standtheil beider, das Zinn. Rose[1] aber lenkte zuerst die Aufmerksamkeit auf diejenige Mischung, welche schon im siedenden Wasser flüssig wird und nach seiner Angabe aus 2 Th. Wismuth, 1 Th. Blei und 1 Th. Zinn besteht. Ein anderes Mischungsverhältnifs giebt d'Arcet[2] an, nämlich 8 Th. Wismuth, 5 Th. Blei und 3 Th. Zinn, Döbereiner[3] dagegen hält 118 Th. Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth für das zweckmäfsigste Verhältnifs, doch ist für den gewöhnlichen Gebrauch nicht nothwendig, ein scharf bestimmtes Verhältnifs inne zu halten, wenn man nur ein den angegebenen genähertes wählt, worin stets die Menge des Wismuths gegen die der beiden übrigen am gröfsten ist. Die Metallmischung wird wegen dieses ihres eigenthümlichen Verhaltens zu manchen Zwecken benutzt, und weil sie zugleich vom Wismuth die Eigenschaft annimmt, sich beim Erstarren auszudehnen und daher in feine Räume einzudringen, so schlägt Gassicourt[4] vor, Stereotypen aus derselben in der Art zu verfertigen, dafs die Erhabenheiten, auf die man dieselbe giefst, sich darin abdrücken, und er glaubt, dafs dieses sogar bei einer dicken und stark hervorragenden Schrift auf Papier geschehen würde[5]. Aber nicht blofs bei den genannten Metallen findet das angegebene Verhalten statt, sondern man darf sagen, dafs es bei allen angetroffen wird, jedoch nicht in gleichem Grade, ja bei der Verbindung des Kupfers mit Zink als Messing und mit Zinn als Glockenspeise rückt zwar der Schmelzpunct unter den des Kupfers herab, aber nicht bis zu der Hitze, welche die mittlere beider Schmelzpuncte ist, wobei aber das quantitative Verhältnifs beider verbundener Metalle einen Unterschied herbeiführt.

---

1 Stralsund'sches Magaz. Th. II. S. 24.

2 Journ. de Phys. T. IX. p. 217.

3 Schweigger's Journ. Bd. XLII. S. 182.

4 Ann. gén. des Sciences phys. T. III. Schweigger's Journ. Bd. XXXIII. S. 443.

5 Prechtl in: Jahrbücher des polyt. Institutes zu Wien. 1819. Th. I. S. 197 theilt eine ausführliche Tabelle über die Temperaturen mit, in denen diese Legirungen nach ihren ungleichen Mischungsverhältnissen schmelzen. Hiernach schmilzt eine Zusammensetzung aus 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei und 3 Th. Zinn am leichtesten, nämlich bei 94°,5 C. Unter den Legirungen von Zinn und Blei schmelzt die, welche aus 4 Th. Blei und 6 Th. Zinn besteht, am leichtesten, nämlich bei 168°,9 C.

Legt man ein Stück Zinn auf ein Kupferblech, so vereinigen sich beide bei der Rothglühhitze und das Kupfer wird durchlöchert. Noch auffallender zeigt sich dieses bei dem so höchst strengflüssigen Platin, denn dieses schmilzt mit allen Metallen, aufser Eisen, mit einigen sogar sehr leicht zusammen, und bildet nicht eben strengflüssige Legirungen, wobei jedoch das quantitative Verhältnifs sehr zu berücksichtigen ist[1].

Metalle werden nicht blofs durch andere Metalle, sondern auch durch sonstige Körper leichter flüssig, als sie es im reinen Zustande sind. So ist das Eisen im stärksten Ofenfeuer unschmelzbar, der Kohlenstoff macht aber den Stahl, und dieselbe Substanz nebst andern Beimischungen, als Phosphor, Silicium u. s. w. das Gufseisen schmelzbar. Hierauf beruhet der sogenannte *Zuschlag* oder *Flufs*, den man bei den Hohöfen anwendet, um die strengflüssigen Metalle zum Schmelzen zu bringen, wozu unter andern der hiervon benannte Flufsspath gehört. Beim Löthen mit sogenanntem hartem Lothe (Zink und Kupfer) oder mit Silber bedient man sich des Borax, um das Fliefsen der Metalle herbeizuführen, und selbst beim leichtflüssigen Schnellloth (Blei und Zinn, oder reines Zinn) wenden die Blecharbeiter Kolophonium zu diesem Zwecke an. Die reinen Erden sind für sich im stärksten Essenfeuer unschmelzbar, allein die Kieselerde schmilzt mit Thonerde zusammen, mit Kalk läfst sie sich in Flufs bringen und mit Kali oder Natron vereint schmilzt sie sogar in der Flamme der Glasbläser. Guyton de Morveau[2] stellte eigene Versuche an, um diesen Einflufs näher zu ermitteln, welchen die Erden rücksichtlich ihrer Schmelzbarkeit auf einander ausüben, und fand, dafs die an sich unschmelzbaren durch ihre Verbindung schmelzbar werden.

Aus allen diesen und vielen andern Erfahrungen geht also hervor, dafs vereinte Substanzen leichter schmelzen, als ihre einzelnen Bestandtheile, und es zeigt sich dieses so allgemein, dafs ein Naturgesetz dabei zum Grunde liegen mufs. Inzwi-

---

1 Hierher kann auch das leichte Verbrennen des Eisens durch Schwefel gerechnet werden. Mit einer Schwefelstange durchbohrt man leicht ein glühendes Eisenblech. Vergl. §. 135. Anm.

2 Journ. de l'École polyt. Cah. II. p. 194. III. p. 298. Ann. de Chim. T. XXIX. p. 320.

schen ist ein solches bis jetzt nicht aufgefunden worden, weil wir zwar die Repulsivkraft der Wärme im Allgemeinen kennen, jedoch keineswegs in ihren verschiedenen Modificationen und Beziehungen auf die ungleiche Materie so genau, dafs wir anzugeben vermöchten, inwiefern dieselbe durch die ohnehin nur oberflächlich bekannten Eigenschaften der Körpermolecüle verstärkt oder geschwächt wird. Aufserdem aber sind die Thatsachen nur im Allgemeinen, keineswegs aber im Einzelnen so bekannt, dafs wir wüfsten, welche Körper und in welchen quantitativen Verhältnissen sie die Schmelzpuncte um bestimmte Wärmegrade herabbringen. Endlich aber ist die Regel nicht allgemein, vielmehr macht namentlich abermals der Schwefel eine Ausnahme, sofern er selbst leichtflüssig ist, aber mit Metallen, selbst den leichtflüssigen, verbunden sehr unschmelzbare Erze bildet.

Als allgemeines Gesetz hinsichtlich der Schmelzbarkeit einfacher Körper stellt Joh. Cloud[1] den Satz auf, dafs namentlich bei den Metallen die Cohäsion ihrer Theile aufgehoben werde und die Temperaturen, in welchen sie schmelzen, daher ihrer Cohäsion und ihrem specifischen Gewichte proportional sein müssen. Die Proportion zwischen Zinn und Gold giebt dann in Graden nach Fahrenheit:

$$36{,}630 \times 7{,}299 : 442 = 150{,}735 \times 19{,}361 : x,$$

also den Schmelzpunct des Goldes = 5103° F. Hiernach wären für die übrigen Metalle:

Metalle	Cohäsion	specif. Gewicht	Schmelzpuncte F.	Schmelzpuncte C.
Eisen . . .	549,250	7,788	7480°	4137
Kupfer . .	302,278	8,667	4581	2527
Platin . . .	274,320	23,543	11293	6257
Silber . . .	187,137	10,510	3439	1892
Gold	150,753	19,361	5103	2817
Zink	109,540	6,861	1314	712
Zinn	34,630	7,299	442	228
Blei	27,621	11,352	548	287

Schon die theoretische Begründung des aufgestellten Satzes dürfte grofsen Schwierigkeiten unterliegen, allein die Erfahrung dient keineswegs zu seiner Bestätigung; denn die gefundenen

1 Trans. of the Amer. Philos. Soc. held at Philad. New Ser. T. I. p. 120.

Gröfsen weichen allzusehr, selbst bei sehr bekannten Metallen, als Blei und Zink, von den Resultaten anderer Messungen ab, als dafs man hoffen dürfte, auf diesem Wege die anderweitig schwer zu bestimmenden Schmelzpuncte genau ermitteln zu können.

511) Was bei denjenigen Körpern häufig beobachtet wird, die in tieferen Temperaturen schmelzen, zeigt sich auch bei solchen, die höhere Wärme hierzu erfordern, bis zu den allerstrengflüssigsten und unschmelzbaren, woraus sich ergiebt, dafs rücksichtlich dieses Verhaltens keine eigentliche Grenzscheidung der Temperaturen statt findet, durch welche die eine Classe der Körper von der andern wesentlich geschieden würde. So wie beim Gefrieren des Wassers Wärme entbunden wird, geschieht dieses auch beim Gestehen der Körper in höheren Temperaturen (§. 457 u. 458), und selbst der Schwefel zeigt durch die ungleichen Zeiten seines Erkaltens nach den Messungen von Marx[1] ein solches Freiwerden der Wärme in den verschiedenen Stadien seiner wechselnden Flüssigkeit; beim Krystallisiren desselben wird aber so viel Wärme entbunden, dafs das Thermometer, wenn das Festwerden beginnt, um 10° C. wieder steigt und bis zur beendigten Erstarrung auf diesem Puncte verharret, ein Verhalten, welches dem des Wassers gleich kommt, bei andern Substanzen gleichfalls statt finden mag und die Bestimmung der Schmelzpuncte bedeutend erschwert. Eine ähnliche Erscheinung gewahrte Crichton[2] beim geschmolzenen Zinn, indem ein in dasselbe eingesenktes Thermometer bis 226°,1 C. herabsank, dann bis 227°,78 C. stieg und bei diesem Stande blieb, bis das Metall gestanden war. Erman[3] beobachtete den Stillstand der Temperatur nicht blofs beim Rose'schen Metalle, sondern auch beim Zinn und Wismuth, und benutzte dieses zur Bestimmung des Schmelzpunctes derselben. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs weitere Beobachtungen, die nur bis jetzt wegen der Unsicherheit der thermometrischen Apparate oder der Schwierigkeit ihrer Behandlung nicht füglich zu erhalten waren, bei verschiedenen andern, selbst den strengflüssigsten, Körpern ein ähnliches Verhalten geben

1 Schweigger's Journ. LX. 1.
2 Philos. Magaz. 1803. März.
3 Poggendorff's Ann. XX. 282.

würden. Auf gleiche Weise ferner, als manche unter 0° C. gefrierende Körper (vergl. §. 498), namentlich das Wasser, sich beim Gestehen ausdehnen, andere dagegen sich fortdauernd zusammenziehen, z. B. das Oel (§. 506), ist dieses auch bei den strengflüssigern Körpern der Fall. Inzwischen herrschen hierüber noch viele unrichtige Meinungen, denn oft sieht man die erstarrten Massen, namentlich der Metalle, auf den geschmolzenen schwimmen[1] und betrachtet dieses als eine Folge der Ausdehnung beim Gestehen, obgleich es nicht selten von Blasenräumen herrührt, die sich beim Erkalten bilden. So glaubte man, das Eisen dehne sich beim Gestehen aus, allein nach Karsten[2] ist seine Zusammenziehung ganz entschieden, weswegen bei der Gröſse der Formen hierauf Rücksicht genommen wird und man dieselben um so viel gröſser macht, als nach dem Kunstausdrucke das *Schwindemaſs* beträgt. Vom Zink wird gleichfalls behauptet, es dehne sich beim Gestehen aus, allein die gemeinsten Erfahrungen ergeben, daſs es sich vielmehr beim Erkalten in den Formen zusammenzieht. Eben dieses ist der Fall beim Blei, weswegen gegossene Kugeln zuweilen dicht unter dem Einguſszapfen ein Loch haben. Das Wismuth dagegen dehnt sich nicht bloſs selbst aus, sondern theilt auch diese Eigenschaft den Legirungen mit. Nach Marx[3] beträgt die Gröſse der Ausdehnung $\frac{1}{33}$ des Volumens beim reinen Metall und wird so viel geringer, je gröſser die Quantität der zugesetzten Metalle ist. Auch dem Schwefel wird die Eigenschaft des Ausdehnens beim Gestehen zugeschrieben. Ob etwas der Art dann statt findet, wenn er bei höheren Wärmegraden als dickflüssigere Masse schnell erkaltet, ist vielleicht noch fraglich, mit Sicherheit kann aber behauptet werden, daſs er aus dem gewöhnlichen Flüssigkeitszustande erstarrend sich merklich zusammenzieht[4]; denn dieses zeigt sich, wenn man ihn in Glasröhren zu Stangen gieſst, die allezeit in der Mitte eine Vertiefung erhalten und nie die Röhren, wenn nicht durch

1 Nach Persoz (in Bibl. univ. 1840, Mai) schwimmt auch das erstarrte Silber auf dem geschmolzenen.

2 Handbuch der Eisenhüttenkunde Bd. III. §. 1007.

3 Schweigger's Journ. LVIII. 454. Berzelius Jahresbericht Bd. XI. S. 134.

4 Vergl. Marx in Schweigger's Journ. LX. 1 ff.

die Erhitzung derselben, zersprengen, vielmehr sich leicht und mit glatter Oberfläche von ihren Wandungen ablösen. Die meisten über 0° C. gestehenden Körper, namentlich die Metalle, nehmen ein krystallinisches Gefüge an, wie das Eis; nur bei den Fetten und einigen andern Substanzen ist dieses nicht der Fall. Unter den Metallen zeigen einige, als Wismuth, Antimon und Zink, dem bloſsen Auge ein auffallendes krystallinisches Gefüge, sichtbar ist dieses gleichfalls beim Guſseisen und dem Stahle, bei den andern Metallen weniger, weil, wie beim Eise, die Zwischenräume zwischen den anfangs gebildeten Krystallen durch flüssige, später gestehende Massen ausgefüllt werden und daher der Bruch nicht mehr deutliche Kennzeichen der Krystallisation enthält. Da aber das so ausnehmend dichte Quecksilber bei den ersten Versuchen (§. 504), dasselbe zum Gefrieren zu bringen, sich krystallinisch zeigte und Mussin-Puschkin[1] beim Golde deutliche Krystalle wahrnahm, so dürfen wir schlieſsen, daſs allen Metallen diese Eigenthümlichkeit zukommt. Man gewahrt dieses am besten, wenn man den Augenblick benutzt, in welchem die geschmolzenen Metalle nur zum Theil erstarret sind, dann die feste Hülle durchstöſst und den noch flüssigen Theil ablaufen läſst, wo sich dann im Innern eigentliche Krystalle oder krystallinisches Gefüge zeigt[2]. Endlich giebt es Körper, welche bei den tiefsten Graden der Kälte bis zu den höchsten Graden der Hitze, wenn nicht gleichzeitig ein ungewöhnlicher äuſserer Druck statt findet, aus dem Zustande der Festigkeit nicht zur tropfbaren Flüssigkeit, sondern zur Expansion übergehen. Wir können die Kohlensäure, obgleich sie aus der Gasform erst flüssig gemacht und dann fest wird, als einen solchen Körper betrachten, nicht minder das Chlor, das Iod[3] und andere, und ebenso werden verschiedene animalische

---

1 Trommsdorff's Handbuch der gesammten Chemie. Erf. 1800 ff. Bd. IV. S. 4.

2 In den Handbüchern der Chemie wird bei jedem Metalle die Krystallform angegeben, wobei sich von selbst versteht, daſs die Beobachtung der Krystallisation bei denjenigen Metallen nicht bloſs schwierig, sondern im eigentlichen Sinne unmöglich ist, die sich rein gar nicht flüssig darstellen lassen, oder in solcher Hitze, wobei diese Beobachtung wegfallen muſs.

3 Das Iod schmilzt nach Gay-Lussac bei 107° C., wenn man es aber in einer verschlossenen Röhre erhitzt, so steigt es sofort als violetter Dampf auf.

und vegetabilische Substanzen, aufser die Fette, durch Hitze nicht tropfbar-flüssig, sondern sofort gasförmig. Merkwürdig ist dabei, dafs die Metalle, unter denen man hierzu meistens Stahl, Gold und Platin wählt, durch einen starken Batteriefunken unmittelbar aus der Festigkeit in Dampf verwandelt werden.

512) Zur Angabe der einzelnen Schmelzpuncte eignet sich eine tabellarische Zusammenstellung am meisten, und diese folgt daher, soweit die Bestimmungen bis jetzt mehr oder weniger genau bekannt sind. Bei solchen Körpern, welche Glühhitze zum Flüssigwerden erfordern, sind die Angaben wegen der Unzuverlässigkeit oder eigentlichen Unrichtigkeit der bis jetzt in Anwendung gebrachten pyrometrischen Mittel am wenigsten sicher. Zwar widersteht kein bekannter Körper der enormen Hitze des *Knallgasgebläses*, und würde dieses sicher dann nicht thun, wenn man eine dicke Flamme dieses Gebläses anzuwenden vermöchte, allein manche Körper schmelzen hierdurch nicht, sondern sie verbrennen, wie namentlich Eisen und Platin, obwohl letzteres sich mit einigem Verluste in Folge der Verbrennung durch dieses Mittel zusammenschmelzen läfst, andere werden zwar flüssig, aber man vermag die dadurch erzeugte Hitze nicht zu messen und die Schmelzpuncte der dadurch flüssig gewordenen Körper bleiben daher unbekannt.

Unter den Körpern, die rücksichtlich ihrer Schmelzbarkeit die Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch genommen haben, verdient das Platin zuerst genannt zu werden, da es in jeder andern Beziehung so vortrefflich ist und sein Werth eben dadurch noch bedeutend erhöhet wird, dafs es den stärksten Graden der Hitze widersteht, ohne wie das Eisen zu rosten, zugleich aber wegen dieser seiner Strengflüssigkeit nicht in diejenigen Formen gebracht werden kann, die zum verlangten Gebrauche erforderlich sind. Inzwischen hat WOLLASTON[1] ein Mittel angegeben, dieses Hindernifs zu beseitigen. Zu diesem Ende mufs man das Platin in verdünntem Königswasser langsam mit allmälig verstärkter Hitze auflösen, um die Mitauflösung des Iridiums zu verhindern, und warten, bis das feine Iridiumpulver sich abgesetzt hat. Die Auflösung wird durch Salmiak niedergeschlagen, der Niederschlag gewaschen und ge-

1 Philos. Magaz. and Ann. T. V. p. 65. Poggendorff's Ann. XV. 299.

prefst und dann sorgfältig erhitzt, um den Salmiak zu verflüchtigen. Die so erhaltene Masse wird mit den Händen und demnächst mit einem hölzernen Pistill in einem hölzernen Mörser zerrieben, damit die Theilchen durch eine härtere Substanz nicht eine polirte Oberfläche erhalten, die das Zusammenschweifsen in der Hitze verhindern würde. Endlich wird die Masse nochmals gewaschen; man erhält dann, nachdem das Wasser abgegossen worden ist, um etwa vorhandene Unreinigkeiten zu entfernen, ein graues, schlammiges Pulver, welches man in eine messingne, nach unten etwas verjüngte Form bringt und zuerst mit einem hölzernen Stempel und Hammer, dann aber mit einem eisernen Stempel unter einer starken, am besten hydraulischen, Presse zusammendrückt. Durch dieses Verfahren gewinnt man einen metallischen Zain, welchen man zuerst über einem Kohlenfeuer ausglüht, dann der stärksten Hitze aussetzt und mit einem schweren Hammer schlägt. Das so dargestellte Metall läfst sich dann durch Treiben in beliebige Formen bringen.

Gleich strengflüssig ist das *Iridium*, doch schmolz Children mit seiner Volta'schen Riesensäule kleine Stückchen desselben zu Kugeln; mit dem Knallgasgebläse bewirkte zwar Berzelius die Schmelzung, allein das Metall senkte sich in den flüssig gewordenen Thon, der zur Unterlage diente, unverändert hinab. Dagegen gelangte Bunsen[1] zur vollständigen Schmelzung desselben, indem er sich einer Kohle zur Unterlage bediente und das mächtige Knallgasgebläse anwandte, welches Döbler für sein *Cary'sches Mikroskop*[2] benutzt. Andere strengflüssige Metalle liefsen sich durch die enorme Hitze dieses Gebläses gleichfalls wohl zum Schmelzen bringen, wenn sie sich nicht, wie z. B. das Magnium, zu schnell oxydirten, weswegen sie verbrannten, aber nicht schmolzen. So verbrennt auch der Kohlenstoff als Diamant und sonst als reine Kohle, ohne zu schmelzen; durch erdige und metallische Beimischungen dagegen, wie im Graphit, wird er schmelzbar, und verwandelt sich im Knallgasgebläse in eine mehr oder weniger durchsichtige Glasperle. Inzwischen

1 Poggendorff's Ann. XLI. 207.

2 Dieses Mikroskop, meistens *Knallgasgebläse-Mikroskop* genannt, gleicht einem Sonnenmikroskope, jedoch geschieht die Beleuchtung nicht durch die Sonne, sondern durch eigens bereitete Kreidekugeln, gegen welche der Strom des Knallgasgebläses gerichtet ist.

behauptet SILLIMAN[1] wo nicht eine Schmelzung, doch eine Verflüchtigung der Kohle bewirkt zu haben. Als er bei Anwendung eines mächtigen Hare'schen Deflagrators den Versuch mit den Kohlenspitzen anstellte, bemerkte er an der Kohle des negativen Rheophors eine Verminderung; es war eine kleine Vertiefung entstanden und an der Spitze des positiven war eine Art Schmelzung sichtbar, wonach also ein Theil von der erstern zur letztern in Dampfform übergegangen und an dem letztern festgeschmolzen seyn müfste. Das Schmiedeeisen ist gleichfalls unschmelzbar und wird zwar im Knallgasgebläse flüssig, denn es nimmt die Kugelform an, verbindet sich dabei aber so schnell mit dem Sauerstoff, dafs man es eigentlicher für verbrannt als für geschmolzen halten mufs.

513) Wie schon bemerkt, sind die Bestimmungen der Schmelzpuncte höchst strengflüssiger Körper sehr unsicher, und die mittelst des Wedgwood'schen Pyrometers gefundenen, obgleich sie lange Zeit als genau galten, haben gegenwärtig ihren Credit gänzlich verloren. Es würde daher nicht der Mühe werth seyn, sie auf Centesimalgrade zu reduciren, auch scheint es mir geeigneter, sie für sich hier blofs voranzustellen[2], weil daraus mindestens die relative Schmelzbarkeit hervorgeht.

Substanzen.	Scale nach Wedgwood	Scale nach Fahrenheit
Grenze von Wedgwood's Scale .	240°	32277°
Gröfste Hitze eines Porcellanofens, worin ächtes Nanking-Porcellan nicht schmolz	160	21877
Chinesisches Porcellan, beste Sorte, erweicht	156	21357
Gufseisen schmilzt gänzlich . .	150	20577
Hessischer Tiegel schmilzt . . .	150	20577
Bristol-Porcellan schmilzt nicht völlig	135	18627
Gufseisen beginnt zu schmelzen .	130	17977
Gröfste Hitze einer Schmiedeesse .	125	17327
Stärkste Hitze eines Tafelglas-Ofens	124	17197

1 Amer. Journ. of Sc. and Arts. T. V. p. 108. Edinburgh Philos. Journ. N. XV. S. 187.

2 Man findet sie in Philos. Trans. T. LXXIV. J. 1784. p. 370, in MURRAY System of Chemistry und daraus in HERSCHEL Art. *Heat* in Encyclop. metrop. p. 382.

Substanzen.	Scale nach Wedgwood	Scale nach Fahrenheit
Porcellan (*Bow porcelain*) verglaset	121°	16807°
Chinesisches Porcellan, schlechteste Sorte, erweicht	120	16677
Stärkste Hitze eines Flintglas-Ofens	114	15897
Porcellan von Derby verglaset . .	112	15637
Steingut sintert zusammen . . .	102	14337
Schweifshitze des Eisens, stärkste .	95	13427
— — — schwächste	90	12777
Erdenwaare erweicht	86	12257
Schwächste Hitze eines Flintglas-Ofens	70	10177
Werkofen-Hitze für Tafelglas . .	57	8487
Holländisches Steingut erweicht .	41	6407
Feines Gold schmilzt	32	5237
Arbeitsofen für Flintglas	29	4847
Feines Silber schmilzt	28	4717
Schwedisches Kupfer schmilzt . .	27	4587
Messing schmilzt	21	3807
Hitze zum Einbrennen des Email .	6	1857
Rothglühen bei Tage sichtbar . .	0	1077

Ungleich genauer und daher auch weit sicherer sind diejenigen Bestimmungen, welche Daniell[1] mittelst seines Pyrometers erhalten hat, die jedoch auf die jetzt erreichbare Genauigkeit gleichfalls keine genügenden Ansprüche machen können.

Metalle	Schmelzpuncte nach Daniell: Daniell's Scale	Fahrenheit	Celsius
Gufseisen . . .	497°	3479°	1915
Gold	370	2590	1421
Kupfer	364	2548	1398
Silber	319	2233	1222
Messing	267	1869	1015
Zink	94	648	342
Blei	87	609	320
Wismuth . . .	66	462	239
Zinn	63	441	227
Quecksilber siedet .	92	644	340

1 Journal of Sciences N. XXII. p. 309. Philos. Trans. 1830 und 1831. Philos. Mag. Ser. II. T. X. p. 191. 268. 350. Ser. III. T. I. p. 197.

Bei weitem die genauesten und jetzt allein als gültig zu betrachtenden Bestimmungen der höchsten Schmelpuncte und Hitzegrade sind diejenigen, welche Pouillet[1] mittelst seines Pyroters gefunden hat, die nicht bloſs die Schmelzpuncte einiger Metalle, sondern auch sonstige sehr hohe Hitzegrade enthalten. Sie sind folgende in Centesimalgraden, können jedoch nur als annähernd genau gelten, da die Unterschiede, mit Ausnahme von zwei Bestimmungen, 100 Grade betragen.

Schmelzpuncte und Glühen.	Hitze
Eisen	1600° C. 1500
Stahl, der am schwersten schmelzbare .	1400
— der am leichtesten schmelzbare .	1300
Graues Guſseisen, schwer schmelzbar .	1200
— — leicht schmelzbar . .	1100
Weiſses Guſseisen, schwer schmelzbar .	1100
— — leicht schmelzbar .	1050
Gold	1200
Silber	1000
Blendendes Weiſsglühn	1600 1500
Helles Weiſsglühn	1400
Weiſsglühn	1300
Helles Orangeglühn	1200
Dunkles Orangeglühn	1100
Helles Kirschrothglühn	1000
Kirschrothglühn	900
Anfangendes Kirschrothglühn	800
Dunkles Rothglühn	700
Anfangendes Rothglühn	525

Für eine Menge Körper sind die Schmelzpuncte mit gröſserer oder geringerer Genauigkeit bekannt. Die hierüber gangbaren Bestimmungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, wobei die zugleich genannten Beobachter einen ungefähren Anhaltpunct der Richtigkeit und Genauigkeit abgeben. Nehmen wir dann Pouillet's Bestimmung für Eisen als mindestens sehr genähert an, so können wir die Schmelzpuncte aller derjenigen Körper, die nur im stärksten Essenfeuer flüssig werden, zwischen 1500 und 1600 setzen; nach bloſser Schätz-

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014.

ung dürfte dann, wenn man den Lichtglanz der Glühhitze als ungefähren Maſsstab annimmt, der Schmelzpunct derjenigen Körper, die im Knallgasgebläse oder im Strome der Volta'schen Säule flüssig werden, auf 1800° C. zu setzen seyn. Bei den angegebenen Schmelzpuncten ist daher zu berücksichtigen, daſs eben die sehr hohen nur für genähert zu halten sind, da selbst Pouillet die von ihm gefundenen, hierbei zu Grunde liegenden, für nichts anderes ausgiebt.

Körper.	Schmelzpunct	Beobachter.
Kohle?	1800° C.	Silliman
Boron?	1800	
Strontian[1]? . . .	1800	
Yttererde?	1800	
Osmium	1800	
Strontium	1800	Davy
Baryum	1800	Clarke
Iridium	1800	Bunsen
Uran	1800	Clarke
Titan	1800	Clarke
Magniumoxyd . . .	1800	Clarke
Cerium	1800	Clarke
Kalk[2]	1800	Clarke
Rhodium	1750	Clarke
Titanoxyd (Rutil) .	1750	Pfaff
Alaunerde	1700	Stromeyer
Kieselerde	1700	Clarke
Zirkonerde	1700	Clarke
Zirkonerde mit etwas Kali	1500	Berzelius
Tantalerde	1600	Berzelius
Süſserde	1600	Davy
Platin	1700	Clarke
Palladium	1700	Vauquelin
Eisen	6346	Morveau
	1600	Pouillet

1 Wenn Buchholz ätzenden Baryt und kaustischen Strontian in der Rothglühhitze geschmolzen haben will, so waren dieses Hydrate. S. Gehlen's Journ. Bd. IV. S. 258 u. 661.

2 Hall und Buchholz wollen kohlensauren Kalk in einem Tiegel unter nicht starkem Drucke geschmolzen haben. Gehlen's Journ. Bd. I. S. 271. Unreiner Kalk erleidet allerdings im Kalkofen eine Schmelzung, allein Kalkspath und selbst Kreide schmilzt nur unvollkommen oder sehr schwer im Knallgasgebläse, mit Kieselerde dagegen leicht.

Körper	Schmelzpunct	Beobachter
Kobalt	1500° C.	
Nickel	1500	Richter
Scheel	1500	Buchholz
Molybdän	1500	Buchholz
Chrom	1500	Vauquelin
Mangan	1500	John
Stahl	1400 1300	Pouillet
Gold	1200	Pouillet
Gußeisen, graues .	1200 1100	Pouillet
weißes .	1100 1050	Pouillet
Kupfer	1050	
Silber	1000	Pouillet
Cadmium	500	Stromeyer
Antimon	513	Guyton-Morveau
	432	Dalton
Tellur	400	Klaproth [1]
Hitze eines gewöhnlichen Feuers . .	400	Irvine
Zink schmilzt . . .	371	Murray
	374	Guyton-Morveau
Blei	310	Irvine
	312	Guyton-Morveau
	262	Biot
Wismuth	265	Erman
	247	Irvine
	249	Crichton
Zinn	267	Guyton-Morveau
	228	Crichton
	223	Erman
Schnell-Loth (4 Th. Blei, 6 Th. Zinn) [2]	169	Prechtl
Rose'sches Metall (8 Th. Wism., 8 Th. Blei, 3 Th. Zinn) [3]	95	Prechtl
Rose'sches Metall . .	94	Erman
Schwefel	111	Mitscherlich

1 Die Bestimmung heifst: leichter als Antimon, schwerer als Blei.

2 Alle andere Mischungen dieser beiden Metalle schmelzen erst bei höheren Temperaturen.

3 Auch diese Mischung ist unter allen die leichtflüssigste.

Körper	Schmelz-punct	Beobachter
Schwefel	108° C.	Dumas
	108	Dalton
	104	Berzelius
Iod	107	Gay-Lussac
Selen	102	Berzelius
Natrium	90	Gay-Lussac u. Thénard
Kalium	58	Gay-Lussac u. Thénard
Campfer	175	Gay-Lussac
Wachs	61,5	
Spermaceti	56,1	
Phosphor	42,8	Thénard
	37,8	Murray
	40,0	Plac. Heinrich
Stearin	21,3	Bellani
vom Hammel schmilzt	61,0	Braconnot
gesteht	44,0	Chevreul
vom Ochsen schmilzt	57,5	Braconnot
Talgsäure	75,0	Chevreul
Margarinsäure . . .	60,0	Chevreul
Margarinfett . . .	49,0	Chevreul
Hammeltalg . . .	40,0	Braconnot
Rindstalg	40,0	Braconnot
Schweineschmalz . .	40,5	Vogel
	31,0	Chevreul
Gänse- und Entenschmalz	25,0	Braconnot
Cetine	49,0	Chevreul
Wallrath	45,0	Chevreul
Butter	32,0	Chevreul
Olivenöl . . unter	10,0	Schübler
	5,3	Bellani
Rübsamenöl, beginnende Erstarrung . . .	1,0	
Süſsmandelöl . . .	— 21,0	Schübler
feines .	— 9,0	Ross
Mohnöl und Nuſsöl[1] gefriert	— 20	Schübler
schmilzt	— 3	Schübler

1 Die fetten Oele und Fette erleiden durch Kälte eine Zersetzung, indem leichter *gestehende* (nicht eigentlich gefrierende) Bestandtheile derselben abgeschieden werden und erhärten, die eine Verdickung herbeiführen und in steigender Wärme nicht leicht wieder zerflieſsen, weswegen die Bestimmungen der Gefrier- oder Schmelzpuncte, insbesondere wenn man die wechselnden Mischungsverhältnisse berücksichtigt, schwer bestimmbar sind.

Körper	Schmelzpunct	Beobachter
Oelsäure	— 3° C.	CHEVREUL
Terpentinöl, rectif. unter	— 27	MARQUERON
Sassafrasöl	— 30,6	PARRY
Wasserhyperoxyd unter	— 30,0	THÉNARD
Salzwasser (spec. Gew. 1,02)	— 1,5	ERMAN
(spec. Gew. 1,01)	— 0,63	ERMAN
Seewasser (spec. Gew. 1,027)	— 2,55	DESPRETZ
	— 2,88	ERMAN
	— 5,00	PARROT
Salzwasser (Wasser mit 0,008 Salz) . . .	— 1,21	DESPRETZ
Essigsäure, Eisessig .	22,5	MOLLERAT
	16,0	LOWITZ
	21,3	BELLANI
Essig, nach dem Grade der Concentration bei gröſserer Kälte . .	— 2,0 — 30,0	
Schwefelsäure[1], concentrirte	— 40	PARRY
mit 0,5 Wasser verd.	— 34,5	PARRY
Schwefelsäure . . .	19	VOGEL
	25	BUSSY
doppelt gewässerte (spec. Gew. 1,78)	7,5	DALTON
Nordhäuser Vitriolöl .	2	BUSSY
Gemeine Schwefelsäure (spec. Gew. 1,845)	— 25	
Sächsisches Vitriolöl (spec. Gew. 1,84)	0 11,3	BELLANI
verd. (spec. Gew. 1,78)	8,0	BELLANI
Schwefelsäure, englische verd. (spec. Gew. 1,78)	5,25	BERZELIUS
Hydrothionsäure . unter	— 17,8	FARADAY
Schweflige Säure .	— 78,9	MITCHELL
Salpetersäure, concentr.	— 45,5	PARRY
	— 54,0	FOURCROY u. VAUQUELIN
verd. (spec. Gew. 1,26)	— 28,9	PARRY
— (spec. Gew. 1,3)	— 19,0	DALTON

1 Die Schmelzpuncte der Schwefelsäure werden von unverwerflichen Autoritäten so verschieden angegeben, daſs die Bestimmungen unmöglich von den nämlichen Substanzen gelten können. Die Aufgabe verdiente eine genaue Revision.

Körper	Schmelzpunct	Beobachter
Brom	— 25° C.	Liebig
Salzsäure . . . unter	— 40	
Chlorstickstoff . unter	— 40	Porret
Chlorkohlenstoff . unter	— 18	Faraday
Chlorcyan	— 10	Gay-Lussac
Chlorzinn	— 45	Parry
Chlorphosphor . .	— 44	Parry
Schwefelblausäure .	— 12,5	Porret
Blausäure	— 15,0	Gay-Lussac
Quecksilber . . .	— 37,5	Kraft u. Euler
	— 35,0	Ross
	— 39,0	Ross
	— 39,45	Hutchins
	— 40,5	Pouillet
Ammoniak	— 49,0	Fourcroy u. Vauquelin
	— 47,8	Guyton-Morveau
Schwefelkohlenstoff unter	— 45	Parry
unter	— 52	Gay-Lussac
Salpeteräther . . .	— 52	Parry
Schwefeläther . unter	— 98,9	Mitchell
Alkohol . . . unter	—100	Thilorier

3) Dampfbildung, Verdunstung, Sieden.

Eine dritte, sehr wichtige Wirkung der Wärme ist die Dampfbildung. Was man unter *Dampf* zu verstehen habe und inwiefern sich derselbe von den Gasen unterscheiden lasse, ist bereits [1] angegeben worden, und so wie man den Flüssigkeitszustand

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 282. Es wurde oben Bd. II. S. 644 der Unterschied zwischen *Dampf* und *Dunst* so festgesetzt, dafs Dampf die völlig durchsichtige, Dunst die nicht völlig durchsichtige elastische Flüssigkeit bezeichne. Manche geben der umgekehrten Bezeichnungsart den Vorzug, und August in Poggendorff's Ann. XIII. 122 findet ein Argument hierfür in dem Umstande, dafs niemand *Ausdampfung* statt *Ausdünstung* sage. Diesem Argumente liefse sich entgegensetzen, dafs ebenso wenig jemand Dunstkanone, Dunstschifffahrt und Dunstwagen sagen würde, was doch geschehen müfste, wenn man den Wasserdampf, dessen Elasticität hierbei das bewegende Mittel ist, Dunst nennen wollte. Ursprünglich hiefsen die wegen ihrer Leichtigkeit schwebenden, eigentlich nicht völlig expandirten Stoffe, die sich als Wolken, Nebel, Höhrauch u. s. w. zeigen, Dünste, und insbesondere spielten die schwefligen und öligen Dünste eine grofse Rolle, die zugleich auch

der Körper als eine Folge der Auflösung ihrer Molecüle in Wärmestoff betrachten kann, darf dieses auch von den Dämpfen angenommen werden. In der Regel sind es Flüssigkeiten, womit sich der Wärmestoff verbindet und die er dadurch in Dampf verwandelt, welche Wirkung mit solcher Intensität statt findet, daſs die Temperatur der Oberfläche durch Abgabe ihrer Wärme merklich unter die der angrenzenden Lagen herabgeht; inzwischen zeigt sich die Geneigtheit der Wärme zur Dampfbildung auch dadurch, daſs sogar die Molecüle fester Körper in den Zustand der Expansion versetzt werden. Geschieht dieses entweder von selbst oder hauptsächlich mittelst künstlicher Vorrichtungen bei trocknen Körpern, wobei sich die verflüchtigten Theile dann, nach Abgabe ihrer Wärme, wieder an kältere Körper abzusetzen pflegen, so bezeichnet man dieses durch den Ausdruck *Sublimation*.

a) Verdunstung.

514) Die Verwandlung der Körper in expansible oder elastische Flüssigkeiten findet im Allgemeinen statt, wenn die Wärme der Körper eine höhere Spannung hat, als die der Umgebung, der Wärmestoff sich daher von diesen Körpern losreiſst und einen Theil ihrer Molecüle in Folge seiner Adhäsion zu denselben mit sich fortführt. Dieser Proceſs muſs um so

---

dann vorhanden seyn konnten, wenn man sie nicht sah, also im Zustande völliger Expansion. Die aus Wasser und sonstigen siedenden Flüssigkeiten aufsteigenden Blasen nannte man *Luft* und hielt sie auch dafür. Allerdings heiſst in einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands in der niederdeutschen Volkssprache der Rauch des brennenden Holzes Dampf, was für August's Meinung entscheiden würde, allein in neueren Zeiten sind die Wortbedeutungen schärfer bestimmt worden. Hiernach haben wir die permanenten Gase und die Luft als eine specielle Verbindung; durch die vielfache technische Anwendung ist der Begriff des Wortes *Dampf* festgestellt worden, und hieraus ergiebt sich die Bedeutung des Wortes *Dunst* von selbst. Daſs im Sprachgebrauche noch die Ausdrücke: *Ausdünstung* und *Verdunstung*, welcher letztere schon durch den richtigern: *Verdampfung* verdrängt zu werden anfängt, beibehalten werden, kann nicht entscheiden, denn auf ähnliche Weise nennen wir auch Körper schwerer, was sie nicht seyn können, da sie vielmehr bloſs von gröſserem Gewichte (gewichtiger) sind. Sonach ist der von mir gewählte Sprachgebrauch in Beziehung auf die gegenwärtig gangbaren Ausdrücke und deren Bedeutung wohl gerechtfertigt.

viel rascher vor sich gehn, je gröfser die vorhandene Menge des hierzu erforderlichen Wärmestoffs ist, und je geneigter die gegebenen Körper sind, den Zustand der Expansion anzunehmen, was durch das Verhältnifs der Anziehungskraft ihrer Molecüle unter sich und der Repulsivkraft ihrer Wärmemolecüle bedingt wird. Inwiefern hiermit das *Sieden* in nothwendiger Verbindung stehe, wird demnächst angegeben werden; zunächst beschränken wir uns hier auf diejenige Dampfbildung, welche bei Flüssigkeiten unter ihrem Siedepuncte statt findet und durch den speciellen Namen *Verdunstung* bezeichnet zu werden pflegt. Diesem wichtigen Probleme ist oben ein eigner Artikel gewidmet worden[1], und es wird daher genügen, hier nur noch einige Bemerkungen und zwar in nächster Beziehung auf den Einflufs hinzuzufügen, welchen die Wärme auf die Verdunstung des Wassers ausübt[2]. Wie leicht die Wärme einen Theil des Wassers in Dampf verwandle und mit sich fortführe, geht schon daraus hervor, dafs die Verdampfung auch dann nicht aufhört, wenn das Wasser, mindestens seine Oberfläche, kälter ist, als die umgebende Luft, und schon Richmann[3] stellte eine Reihe von Versuchen an, wodurch er die Stärke der Verdunstung des Wassers von niedrigerer Temperatur als die der umgebenden Luft auszumitteln suchte. Hierbei kommt, wie kaum der Erwähnung bedarf, hauptsächlich die Begierde in Betrachtung, womit die nicht gesättigte Luft den gebildeten Wasserdampf in sich aufnimmt. Uebrigens wufste Richmann sehr wohl, dafs die Dampfbildung eine Function der Wärme sey, und er bemühte sich daher, das Verhältnifs der Verdunstungsgröfse zum Unterschiede der Temperaturen des Wassers und der umgebenden Luft durch Versuche aufzufinden[4], wobei er jedoch zu keinem bestimmten Gesetze gelangte, weil zugleich die Trockenheit der Luft einen sehr bedeutenden Einflufs ausübt. Dagegen suchte Flaugergues[5] die Wirkung der Wärme für sich allein zu ermitteln, indem er bei gleichem Barometerstande und gleicher hygrometrischer Beschaffenheit der ruhigen Zimmerluft in gleichmäfsiger Temperatur Wasser aus Gefäfsen

---

1 S. Art. *Verdunstung.* Bd. IX. S. 1720.
2 Vergl. ebendaselbst S. 1743.
3 Nov. Comm. Petrop. T. II. p. 145.
4 Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 199.
5 Journ. de Phys. T LXX. p. 150.

von gleich grofser Oberfläche verdunsten liefs, die Zeiten und die Höhen der Verdunstung genau mafs und auf 24 Stunden reducirte. Nach der 80theiligen Scale gehörten zu 0° Temperatur 4,4 Lin. und zu 31° R. 72,2 Lin. eines durch Canivet in 1000 Theile getheilten Mafsstabes. Wurden die Thermometergrade als Abscissen, die Verdunstungshöhen als Ordinaten genommen, so bildete die durch die Endpuncte gezogene Linie eine logarithmische Curve. Es ist aber Log. 4,4 = 1,4816045 und Log. 72,2 = 4,2863414, und hiernach die Subtangente der Curve durch die Proportion

$$4{,}2863414 - 1{,}4816045 : 31 - 0 = 1 : \text{Subtang.}$$

gegeben, welches die Subtangente = 11,0527301 giebt. Für die Abscisse = x, die Ordinate = y und die Subtangente = S ist

$$S \partial y = y \partial x,$$

welches integrirt für x = 0 und y = 4,4

$$y = 4{,}4 \cdot (2{,}7182818)^{\frac{x}{11{,}0527301}}$$

giebt. Die beobachteten und hiernach berechneten Werthe stellt Flaugergues in folgender Tabelle zusammen:

Grade	beob-acht.	be-rechn.	Un-tersch.	Grade	beob-acht.	be-rechn.	Un-tersch.
0° R.	4,4	4,4	0,0	16	17,8	18,7	+ 0,9
1	4,5	4,8	+ 0,3	17	19,4	20,5	+ 1,1
2	4,4	5,3	+ 0,9	18	22,0	22,4	+ 0,4
3	5,9	5,8	− 0,1	19	24,8	24,6	− 0,2
4	6,8	6,3	− 0,5	20	27,3	26,9	− 0,4
5	7,3	6,9	− 0,4	21	30,2	29,4	− 0,8
6	7,4	7,6	+ 0,2	22	32,0	32,2	+ 0,2
7	8,0	8,3	+ 0,3	23	35,6	35,2	− 0,4
8	9,6	9,1	− 0,5	24	38,9	38,6	− 0,3
9	10,3	9,9	− 0,4	25	42,0	42,2	+ 0,2
10	10,0	10,9	+ 0,9	26	46,8	46,2	− 0,6
11	10,9	11,4	+ 1,0	27	51,0	50,6	− 0,4
12	13,2	13,0	− 0,2	28	55,7	55,4	− 0,3
13	14,0	14,3	+ 0,3	29	61,0	60,7	− 0,3
14	15,9	15,6	− 0,3	30	66,9	66,4	− 0,5
15	16,4	17,1	+ 0,7	31	72,7	72,7	0,0

Es giebt aufserdem noch verschiedene Versuche, wodurch man die Stärke der Verdunstung durch höhere Wärmegrade auszu-

mitteln suchte, z. B. von HASSENFRATZ[1], sie können aber hier übergangen werden, da sie mehr der Dampferzeugung als der eigentlichen Verdunstung angehören.

515) Noch weit mühsamere Versuche stellte FLAUGERGUES[2] an, um den Einfluſs der Trockenheit für sich zu ermitteln. Zu diesem Ende trocknete er Luft in einer gehörig lutirten Tonne über frisch gebranntem Kalke, füllte aus dieser einen blechernen Kasten mittelst auslaufenden Sandes, stellte in denselben ein Gefäſs mit Wasser und maſs die Menge des verdunsteten Wassers mit dem angegebenen Maſsstabe. Da die Verdunstung ganz aufhören muſs, wenn die Luft mit Wasserdampf völlig gesättigt ist, so kam es hauptsächlich darauf an, das Verhältniſs der Wassermengen, welche in Luft von gegebener Temperatur enthalten seyn können, zu bestimmen. In Ermangelung der schärferen Bestimmungen, welche durch die neueren Forschungen über diese Aufgabe zu Gebote stehn[3], legte er die Angabe DE SAUSSURE's zu Grunde, wonach 10 Gran Wassers erfordert werden, um 1 Kubikfuſs Luft bei 15° R. völlig zu sättigen. Durch eigene Versuche fand er dann ferner, daſs die Quantitäten Wassers, welche die Luft bei verschiedenen Temperaturen aufzunehmen vermag, ein gleiches Gesetz, als die oben gefundenen Verdunstungsmengen befolgen. Es gehören aber nach der mitgetheilten Tabelle zu 15° R. 17,1 Lin. und zu 0° R. 4,4 Lin. Verdunstungshöhen. Hiernach findet er aus der Proportion

$$17{,}1 : 4{,}4 = 10 \text{ Gran} : 2{,}6 \text{ Gran}$$

die Menge des Wassers in Dampfform, wodurch ein Kubikfuſs Luft bei 0° R. gesättigt ist. Wird dann 1 Kubikzoll Wasser zu 373,5 Gran angenommen, so betragen 2,6 Gran 12 Kubiklinien, und diese im Verhältniſs zu 1 Kubikfuſs genommen geben $\frac{12}{(144)^3}$. Nimmt man die in der obigen Formel enthaltenen Gröſsen mit Weglassung der höheren Potenzen hinzu, so erhält man folgende Proportion:

$$(2{,}718)^{\frac{0}{11{,}05}} \times 4{,}4 : (2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} \times 4{,}4 = \frac{12}{(144)^3} : \frac{12\,(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}}}{(144)^3}.$$

1 Journ. de l'École polyt. T. III. p. 368.
2 Journ. de Physique T. LXX. p. 157.
3 Vergl. Art. *Dampf, Dichtigkeit desselben.* Bd. II. S. 371.

als den Ausdruck der Verdunstungsmenge für x° R. bei vollkommener Trockenheit der Luft. Indem aber die Verdunstung in dem nämlichen Verhältnifs abnehmen mufs, in welchem die Sättigung mit Wasserdampf zunimmt, so ist allgemein für z als den Grad dieser Sättigung

$$\frac{12(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}}}{(144)^3} - \frac{z}{(144)^3}$$

der Ausdruck für die Stärke der Verdunstung für x° R. und einen Grad der Sättigung = z. Wird dann z in Kubiklinien Wasser genommen, welche ein Kubikfufs Luft bei der Temperatur = x in Graden der achtzigtheiligen Scale enthält, so hat man das Verhältnifs

$$(2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} : (2{,}718)^{\frac{x}{11{,}05}} - \frac{z}{12}$$

der Verdunstung in völlig trockner Luft zu der in Luft, welche z Kubiklinien Wasserdampf enthält. Die durch Versuche gefundenen Gröfsen stimmten hiermit aber nicht genügend überein, was nicht zu verwundern ist, da die zum Grunde liegenden Bedingungen der gehörigen Schärfe ermangeln. Eine bessere Uebereinstimmung zeigte sich, wenn die zweite Gröfse des Verhältnisses in $\left((2{,}72)^{\frac{x}{11{,}05}} - \frac{z}{12}\right) \times 0{,}34$ Lin. verwandelt wurde, allein auch dann sind die Unterschiede noch gröfser, als dafs sie durch blofse Beobachtungsfehler erzeugt seyn könnten, und Flaugergues erkennt daher die unüberwindlichen Schwierigkeiten, welche einer genauen Bestimmung des Werthes von z entgegenstehn, wozu die damals bekannten Hygrometer nicht ausreichten. Gesetzt aber, man könnte diese Gröfse jetzt genauer bestimmen, so findet zugleich im Freien ein so beständiger und schneller Wechsel der Temperaturen und Feuchtigkeitsgrade statt, dafs die Formel für diesen Zweck keinen praktischen Nutzen gewähren und blofs dazu dienen kann, das theoretische Gesetz der Verdunstung zu prüfen. Interessante Versuche hat Schübler [1] über die Stärke der *Verdunstung des*

1 Naturwissenschaftl. Abhandlung einer Gesellschaft von Württemb. Th. I. S. 211.

Eises angestellt. Hieraus ergiebt sich, dafs dieselbe weit stärker ist, als man gewöhnlich glaubt, denn im Monat Januar 1826 betrug sie bei einer mittleren Temperatur von — 7°,5 C. und im Ganzen trockner Luft 1,48 Lin., und da die des Schnees noch stärker ist, so läfst sich hieraus leicht erklären, wie es zugeht, dafs bei starker Kälte gefallener feiner Schnee, wenn heiteres Wetter und Sonnenschein folgt, bei kalter und trockner Luft so stark verdunstet, dafs er beim Schmelzen nur wenig Wasser giebt. Unter den angegebenen Bedingungen ist die Stärke der Verdunstung des Eises gröfser, als die des Wassers bei nicht hoher Temperatur und trübem Himmel, z. B. im Februar. Die durch das Gewicht bestimmte Menge des verdunsteten Eises betrug im Mittel täglich 0,05 Linien. Der Einflufs der Wärme zeigte sich übrigens sehr auffallend, denn die stärkste Verdunstung in Juli war über zehnmal gröfser als die stärkste im Januar bei einem Wärmeunterschiede von 36°,19 C.

Die Trockenheit der Luft hat übrigens selbst auf die technischen Verdunstungsprocesse im Grofsen einen bedeutenden Einflufs, denn nach einem Durchschnitte aus mehreren Jahren verhielt sich die Gröfse der Verdunstung bei den Salinen des Jura[1] in den feuchteren Monaten zu der in den trocknen unter gleichen Bedingungen wie 92037 zu 109824. Aufser Rumford hat insbesondere auch Hassenfratz[2] für technische Verdunstungen im Grofsen, z. B. bei Salinen, die geeignetsten Verhältnisse der Oberflächen zu den Tiefen der Behälter auszumitteln gesucht, was auch in Beziehung auf die Menge des erforderlichen Brennmaterials bei künstlich erhöhter Temperatur in Betrachtung kommt. Am vortheilhaftesten fand er die Gröfse der Oberfläche = 1250 für eine Tiefe = 8, wonach also bei einer Tiefe von 17 der Durchmesser eines runden Gefäfses = 87, die Seite eines quadratischen = 77 und die beiden

1 Journ. de l'École polyt. T. III. p. 367.

2 Ebendaselbst p. 364. Die Untersuchungen über die Menge des aus offenen Canälen verdunstenden Wassers, z. B. die Versuche von Freiesleben in Lempe's Lehrbegriff der Maschinenlehre, so wie über die Verdunstung der Salzsoolen von verschiedenem Gehalte, s. Karsten's Archiv für Bergbau und Hüttenwesen Th. VI. und Th. IX. S. 193, gehören mehr in das Gebiet der Technologie.

Seiten eines länglichen 109 und 54 seyn müfsten. Wie stark übrigens die Verdunstung im Freien, besonders des mit Vegetabilien bedeckten Bodens, sey, geht aus folgender Angabe hervor. Gregory[1] brachte zum Messen des verdunstenden Wassers mit Rücksicht auf die Gröfse der Oberfläche in Vorschlag, ein reines Glas umgekehrt mit der Oeffnung auf den Boden zu stellen, nach gemessener Zeit die im Innern angesetzte Feuchtigkeit mit Musselin abzuwischen und ihre Menge durch das Gewicht zu bestimmen. Nach dieser Methode fand Dodsley durch vergleichende Versuche die Verdunstung von Brachland nach monatlicher Dürre bei ganz versengtem Grase in 12 Stunden von einem englischen Acre (von 14520 engl. Quadratfufs) 1600 Gallons oder 12800 Pinten betragend. An einem Tage nach gefallenem Regen betrug sie in derselben Zeit bei 35°,6 C. 1973 Gallons oder 15544 Pinten, und wenn es acht Tage nicht geregnet hatte, bei einer starken Hitze von 43°,33 C. 2800 Gallons oder 22400 Pinten[2]. Ausgedehntere Versuche dieser Art würden sehr interessant seyn und uns einer schärferen Bestimmung der in der Natur statt findenden Verdunstung näher bringen; sie würden aber einen enormen Aufwand von Zeit erfordern, sollten sich die überaus zahlreichen Bedingungen der Verdunstungsmenge aus ihnen entnehmen lassen. Die von Dodsley gefundenen Gröfsen z. B. finden nur für den Fall statt, dafs der Einflufs der Temperatur und der Sonnenstrahlen während der 12 Tagsstunden unverändert bliebe, was schon an sich unmöglich ist. So bemerkt D'Aubuisson[3], indem er die Menge des verdunsteten Wassers durch eine allgemeine Formel auszudrücken sucht, die nach Dalton's Messungen gefundene Höhe des verdunsteten Wassers betrage bei ganz ruhiger Luft 34 Millim., könne aber unter übrigens gleichen Umständen bei bewegter Luft wohl auf 50, ja sogar 60 Millim. steigen. Da es aber unmöglich ist, alle die verschiedenen,

---

1 Haushaltung der Natur. Th. I. S. 120. Diese Methode giebt keine genügenden Resultate, denn die Wärme wird unter dem Glase unverhältnifsmäfsig gesteigert, der Dampf wird nicht sofort weggeführt, und man hat anstatt der natürlichen Verdunstung einen künstlichen Destillationsprocefs.

2 Die hohe Temperatur ist vermuthlich diejenige, welche die Sonnenstrahlen auf dem Boden erzeugten.

3 Journ. de Phys. T. LXXI. p. 41.

stets wechselnden Bedingungen in einen analytischen Ausdruck aufzunehmen, so bleibt es immerhin am rathsamsten, falls man die natürliche Verdunstungsmenge an einem gegebenen Orte zu erforschen strebt, sich eines geeigneten Apparates zu bedienen, wozu im Artikel *Atmometer* die erforderliche Anweisung gegeben worden ist[1].

b) S i e d e n.

516) Die Dampfbildung findet vorzugsweise, namentlich bei tropfbaren Flüssigkeiten, dann statt, wenn diese sieden, so dafs man, wenn vom Dampfe die Rede ist, mitunter ausschliefslich solchen versteht, welcher in der Siedehitze erzeugt wird. Die *Siedehitze* ist diejenige, welche beim *Sieden* (*Ebullitio;* Ebullition, Bouillonnement; *Boiling*, *Seething*) oder *Kochen* statt findet, was aber das *Sieden* eigentlich sey, hält man für so allgemein bekannt, dafs man es meistens nicht für der Mühe werth achtet, dem Wesen dieses Processes nachzuforschen, dessen eigentliches Verhalten zu begreifen keineswegs so leicht ist, als wegen der allgemeinen Bekanntschaft mit den täglich vorkommenden Thatsachen vorausgesetzt zu werden pflegt. Dennoch aber ist die Menge der hierüber bekannt gewordenen Beobachtungen und Versuche so ausnehmend grofs, dafs es schwer hält, das Wichtigere unter dem minder Bedeutenden herauszufinden und übersichtlich zusammenzustellen.

Im Allgemeinen findet das Sieden der Flüssigkeiten dann statt, wenn die aus denselben gebildeten Dämpfe einen solchen Grad der Elasticität erlangen, dafs sie nicht blofs die über ihnen befindlichen Lagen der Flüssigkeit, sondern auch die hierauf drückenden elastischen Medien, namentlich die atmosphärische Luft, mit Leichtigkeit emporzuheben vermögen und daher in Folge ihres schnellen Aufsteigens aus der jedesmaligen Flüssigkeit dasjenige eigenthümliche Aufwallen derselben bewirken, wodurch das Sieden kenntlich wird. Sofern insbesondere bei Gefäfsen von verhältnifsmäfsig grofser Oberfläche die

---

1 Beiläufig möge hier noch die Thatsache nachgetragen werden, dafs auch Dalton den im Art. *Verdunstung* Bd. IX. S. 1722 erwähnten *Geruch* mancher, namentlich metallischer Körper von losgerissenen, also verdampften, Partikelchen abzuleiten geneigt ist, s. Bibl. Brit. T. XX. p. 336.

ampfbildung nicht bloſs in den unteren Schichten, sondern in n sämmtlichen, gleichmäſsig erhitzten, statt findet, oder bei cht beträchtlicher Dicke dieser Schichten ihr Druck nicht sehr Betrachtung kommt, pflegt man diesen zu vernachlässigen ıd den Siedepunct in diejenige Temperatur zu setzen, bei elcher die Elasticität der Dämpfe die der atmosphärischen ıft erreicht hat. Uebergehn wir die früheren ganz unangeessenen Vorstellungen, welche die älteren Physiker in Geäſsheit ihrer unrichtigen Ansichten über das Wesen der Wäre hegten, so wurde der Proceſs des Siedens schon früh geigend erkannt. Ehemals glaubte man, das Sieden bestehe in nem Aufsteigen der an das Wasser gebundenen Luft, und OLLET[1] war wohl der erste, welcher die später aufsteigenden asen nicht für Luft, sondern für Dampf hielt. Wie wenig nau man aber damals das eigentliche Wesen der Phänomene kannte, geht deutlich aus MUSSCHENBROEK's[2] Aeuſserungen er das Sieden hervor. Nach ihm ist es das Feuer, welches fangs fadenartig, später flockig in Gestalt von Bläschen aufeigt und sich allseitig ausbreitet. Zugleich aber sollen die asen, die sich am Boden der Gefäſse bilden, aus Feuer und ampf bestehn, worin die Wassertheilchen durch Berührung s Feuers verwandelt werden, und weil das Feuer nur eine wisse Menge Dampf aufzulösen vermag, so verbreitet sich s überflüssige durch die gesammte Masse und reiſst aus dem asser eine gewisse Menge Theile in Gestalt des Dampfes mit h fort. Später, in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunrts, hielt man allgemein den Dampf für eine Verbindung der opfbaren Flüssigkeiten mit Wärme, und der Unterschied der rschiedenen Vorstellungen beruhte hauptsächlich auf der Fra-, ob diese Verbindung als eine chemische, also als eine eintliche Auflösung, zu betrachten sey oder nicht. Gegenärtig hat dieser, am Ende des letzten Jahrhunderts mit Hefkeit geführte Streit[3] kein Interesse mehr, auch ist nicht eiter die Rede von der Mitwirkung der Elektricität, die man it MUSSCHENBROEK bei der Dampfbildung als nothwendig

1 Mém. de l'Acad. 1748. p. 57. Eine Vorstellung vom Wasserımpfe, als einer Verbindung des Feuers mit irgend einer Flüssigit, namentlich dem Wasser, hatte man schon seit NEWTON. S. §. 2.

2 Introd. ad Philos. Nat. §. 1455.

3 Vergl. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1214.

mitwirkend annahm, vielmehr betrachtet man den Dampf als eine Verbindung der Wärme und der Flüssigkeiten in der Weise, daſs die Repulsivkraft der Wärme die Anziehungskraft der Körpermolecüle merklich übertrifft und letztere daher sich stets weiter von einander entfernen, wenn sie nicht durch äuſseren Druck zusammengehalten werden.

517) Aus diesen allgemeinen Principien werden dann auch die Phänomene des Siedens leicht erklärt. Setzt man ein Gefäſs mit einer Flüssigkeit, wir wollen zum besseren Anhaltpuncte Wasser nehmen, der Einwirkung des Feuers (der Hitze) aus, so dringt die erzeugte Wärme durch die Wandungen des Gefäſses und theilt sich den berührenden Theilchen mit, welche dadurch specifisch leichter werden, demnach aufsteigen und somit, ungeachtet des schlechten Leitungsvermögens der Flüssigkeiten (§. 287), die gesammte Masse ziemlich schnell erwärmen. Durch diese Erwärmung wird die Affinität des Wassers zu den absorbirten Gasen geschwächt[1] und diese trennen sich in Gestalt sehr kleiner Bläschen, welche durch die Wärme ausgedehnt in stets wachsender Menge aufsteigen, weswegen man das Wasser, so wie andere Flüssigkeiten, namentlich auch das Quecksilber, durch anhaltendes Sieden von der darin enthaltenen Luft gänzlich befreien kann. Gleichzeitig hiermit verwandelt der von auſsen zugeführte, das Gefäſs und hauptsächlich dessen Boden durchdringende Wärmestoff die Wassertheilchen, welche die Oberfläche der inneren Wandungen unmittelbar berühren, in Dampf, welcher wegen seiner Leichtigkeit sofort aufsteigt und eine andere dünne Wasserschicht an seine Stelle treten läſst, die dann der nämlichen Verwandlung unterliegt. Dieses unausgesetzte Zuströmen neuer Wärme und die hierdurch bedingte, stets erneuerte Bildung von Wasserdampf zieht zwei Folgen nach sich, die in der Natur der Sache begründet sind. Wenn zuerst das umgebende Wasser noch so kalt ist, daſs die fortwährend an der inneren Fläche des Gefäſses gebildeten Dampfblasen sofort ihre Wärme an die höheren Wasserschichten wieder abgeben, so verschwinden die erzeugten Bläschen augenblicklich nach ihrer Entstehung wieder, die umgebende Flüssigkeit dringt in Folge des Druckes der Wasserschichten und der darüber ruhenden Atmosphäre in den ent-

1 S. Art. *Absorption*. Bd. I. S. 46.

standenen leeren Raum und schlägt mit einiger Heftigkeit gegen die Wandung des Gefäſses. Erneuert sich dieser Proceſs an mehrern Stellen schnell, so entsteht hierdurch ein hörbares Geräusch, das sogenannte *Simmern*, welches man namentlich bei metallenen und insbesondere kupfernen Gefäſsen wegen der vorzüglichern Wärmeleitung, mitunter von bedeutender Stärke, wahrzunehmen pflegt und worauf zuerst NICHOLSON[1] aufmerksam machte, welcher zugleich das Phänomen richtig und nicht, wie früher, aus dem Aufsteigen der Luftblasen erklärte, indem er auſserdem seine Erklärung durch Versuche unterstützte. Eine vollständige Bestätigung gab bald nachher ein von mir selbst beobachtetes merkwürdiges Phänomen. Der zum Baden bestimmte Schlamm des Schwefelbades zu Eilsen (unweit Hannover) wurde in einem groſsen, etwa 2,5 Fuſs tiefen steinernen Behälter mittelst des Dampfes erwärmt, welcher ihm durch ein etwa 1,5 Zoll weites, fast lothrecht herabgebogenes, durch eine Wand geleitetes und am andern, gleichfalls herabgebogenen Ende auf einem groſsen Kessel befestigtes Bleirohr zuströmte[2]. Der Kessel befand sich in einer eigenen Heizküche und war zur Zeit der Beobachtung, so wie das durch die Zwischenwand geleitete Bleirohr, siedend heiſs. Ungefähr in jeder Secunde und selbst öfter erfolgte ein mit einiger Erschütterung des Gebäudes verbundenes Getöse, ähnlich dem heftigen Schlage mit einem schweren Hammer auf einen Fuſsboden, und man hörte dieses nicht bloſs in dem Gebäude, sondern selbst schon in etwa 20 Schritt Entfernung von demselben. Die Veranlassung konnte keine andere seyn, als der Dampf, welcher aus dem Heizkessel in den Schlamm des Behälters getrieben wurde, die in dem Bleirohre aufsteigende Flüssigkeitssäule herabdrückte, nach Abgabe der Expansionswärme aber ein Vacuum erzeugte, in welches der Schlamm mit Heftigkeit eindrang. Die Flüssigkeit im Behälter blieb dabei unbewegt und nur selten stiegen einige Luftblasen neben dem Rohre bis zur Oberfläche empor; dem Rohre aber wurde die Erschütterung, auſser sofern es an der des bloſs zu diesem Zweck bestimmten kleinen Hauses Theil nahm, noch beson-

1 Dessen Journal Th. XI. S. 216. G. XXII. 397.

2 Der Heizapparat war also nach der älteren Bezeichnungsart ein sogenannter *Pelican*.

ders mitgetheilt, wovon man sich bei der Berührung desselben überzeugen konnte, soweit dessen Hitze dieses gestattete[1].

518) Eine zweite Wirkung, welche als Folge des von der Wärmequelle stets ausströmenden, das Gefäſs durchdringenden und an die berührenden Wassertheilchen übergehenden Wärmestoffes zu betrachten ist, wurde oben (§. 305) bei der Untersuchung der Wärmeleitung bereits erörtert, nämlich die verhältniſsmäſsig geringe Wärme des Bodens solcher Gefäſse, in denen das Wasser stark siedet, in dem Augenblicke, wenn man sie vom Feuer entfernt. Es ist zu verwundern, daſs dieses interessante, für die Materialität und ganz eigentliche Bewegung des Wärmestoffes so sehr sprechende Phänomen erst neuerdings durch Jacquemyns und die Brüsseler Akademie wieder aus der Vergessenheit gezogen, in der vorhergehenden Zeit aber gänzlich vernachlässigt wurde, ungeachtet die älteste Beobachtung desselben sich schon beim Aristoteles[2] befindet. Dieser giebt bloſs die Thatsache an und beschränkt sie auf ein dünnes Gefäſs, was auch insofern gegründet ist, als das Durchströmen der Wärme durch eine zu dicke Masse nicht zu sehr verzögert seyn darf. Durch die Mitglieder der Pariser Akademie[3] wurde das Phänomen geprüft und bestätigt gefunden, dabei aber bemerkt, das Gefäſs müsse groſs und dessen Boden sehr dünn seyn, auch finde die Abkühlung der Bodenfläche nur so lange statt, als das Wasser noch im Sieden bleibe, indem unmittelbar nachher der Boden wieder sehr heiſs werde. Gehler[4] erwähnt zugleich die wegen ihrer Sonderbarkeit interessante Erklärung, welche Homberg, Nollet, Musschenbroek, Brisson u. A. über dieses Phänomen aufstellten, wonach die Wärmetheilchen wie Pfeile mit ihren Spitzen durch das Gefäſs dringen und aufwärts steigen sollen, also die Hand nicht verletzen können, bis das Sieden aufhört und die Wege verstopft sind, so daſs sie dann ihre Richtung umkehren. Er selbst giebt übrigens die richtige Erklärung.

---

1 Gilbert in einer Anm. a. a. O. theilt ganz diese Ansicht, die übrigens schon Gehler im Wörterb. a. A. Th. IV. S. 43 als wahrscheinlich aufstellt.

2 Problemat. Sect. XXIII. §. 5.

3 Histoire de l'Acad. 1703. p. 30.

4 Wörterbuch, n. Ausg. Th. IV. S. 56.

Im genauen Zusammenhange hiermit steht die bekannte Erfahrung, daſs eine freie und, man möchte sagen, ungehinderte Bewegung der Wärme erfordert wird, um den Proceſs des Siedens fortdauernd zu erhalten, welche nicht statt finden kann, sobald die Leitung derselben unterbrochen ist. Auch hiervon war bereits (§. 300) die Rede, und es wurde eben in Beziehung auf die Fortpflanzung der Wärme die bekannte Erfahrung erörtert, daſs das Wasser in einem Gefäſse, welches sich in einem gröſseren Gefäſse mit siedendem Wasser befindet, nicht zum Sieden gelangt, wie stark auch das Feuer seyn mag, dem man das äuſsere Gefäſs aussetzt. Erfahrungen hierüber giebt es in Menge; die Sache ist ausführlich erörtert worden von Ladisl. Chernak[1], und auſser den bereits genannten Forschern, welche dieses Problem einer näheren Untersuchung werth hielten, können noch Borrichius[2], Cigna[3] und v. Lamperti[4] erwähnt werden. Letzterer setzte vier zunehmend kleinere Gefäſse in einander und fand, wenn das äuſserste einem lebhaften Feuer ausgesetzt wurde, die Temperaturen 100°; 92°,5; 86°,25; 82°,5; war aber das äuſsere mit Salzwasser gefüllt, so beobachtete er folgende abnehmende Temperaturen: 102°,5; 95°,0; 87°,5; 83°,75 C. Technisch lieſse sich hiervon eine Anwendung machen, wenn man irgend eine Substanz einer constanten, die Siedehitze nicht erreichenden, vielmehr in einem bestimmten Abstande davon befindlichen Temperatur aussetzen wollte, die sich dann durch die Menge der in einander gesetzten Gefäſse bestimmen lieſse. Die Chemiker bedienen sich dieses Mittels seit der längsten Zeit, indem sie ein Wassergefäſs in ein anderes mit siedendem Wasser setzen, und nennen diesen Apparat *Marienbad*, *Wasserbad* (*balneum maris seu Mariae;* bain-Marie). Man wird bei dieser Betrachtung unwillkürlich an die Fortpflanzung des Schalles erinnert, für welchen leinene, wollene oder sonstige Fäden und Gewebe bessere Leitungsmittel abgeben, als die Luft, obgleich eben diese seinen Fortgang hindern, wenn sie wiederholt von den durch die Luft fortgepflanzten Wellen durchdrungen werden müssen, in-

1 Dissert. de aqua intra aquam ferventem non ebulliente. Groning. 1775. 4.

2 Acta med. et phil. Hafn. 1771 u. 72. p. 153.

3 Journ. de Phys. T. III. p. 109.

4 Hermbstädt's Bülletin. Th. X. Hft. 3.

dem man die Schläge der Unruhe einer Taschenuhr aus 1 Fuſs Entfernung durch die Luft sehr gut wahrnimmt, aber dann nicht, wenn die Uhr in ein Tuch eingewickelt ist.

519) Es läſst sich hier zunächst der Einfluſs anreihen, welchen die *Oberfläche der Gefäſse*, worin sich die Flüssigkeiten befinden, auf das Sieden derselben ausübt. Wollen wir zur richtigen Beurtheilung der in dieser Beziehung vorkommenden und vielfach beobachteten Thatsachen zuerst die allgemeinen Principien feststellen, worauf eine richtige Erklärung gegründet seyn muſs, so ist Folgendes zu bemerken, wenn von dem bereits §. 229 und 234 erörterten Einflusse der Oberflächen auf die Wärmestrahlung abstrahirt und bloſs der Proceſs des Siedens berücksichtigt wird. Sobald die gegebene Flüssigkeit diejenige Temperatur angenommen hat, vermöge welcher der aus ihr aufsteigende Dampf die erforderliche Elasticität besitzt, um sowohl die Lagen der Flüssigkeit, als auch die darauf drückende Luftsäule mit Leichtigkeit zu heben, so tritt das Sieden ein, und dauert mit gröſserer oder geringerer Raschheit fort, je leichter und schneller Wärme von auſsen zuströmt. Sofern aber die letztere stets zur Bildung neuen Dampfes dient, kann die Flüssigkeit nicht wärmer werden, und die Fixität des Siedepunctes ist daher lediglich durch den Luftdruck bedingt, wovon sofort die Rede seyn wird. Auf das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer wirkt aber nicht bloſs die derselben eigene Wärme, obgleich diese die vorzüglichste Ursache ist, sondern zugleich die von den Wandungen, hauptsächlich vom Boden des Gefäſses, ausstrahlende, die bei so vielen Erscheinungen eine sehr bedeutende Rolle spielt. Diese letztere wirkt wiederum auf zweierlei Weise, zuerst indem sie auf die Thermometerkugel fällt und das Quecksilber steigen macht, oder zweitens indem sie auf adiathermane Körper stöſst und diese zur Entwickelung von Dampf disponirt. Befinden sich nämlich kleine Stückchen fester Körper, namentlich feine Metallspähne, Feilicht, Sägespähne von Holz oder sonstige kleine Theilchen im Wasser schwebend, so gewahrt man, daſs von diesen kleine Gasbläschen aufsteigen, und thermometrische Messungen ergeben, daſs sie das Sieden erleichtern. Diese Wirkung kann nach unsern Vorstellungen von der Wärme nur auf zweierlei Weise erklärt werden; denn daſs sich fortdauernd Wärme aus diesen Körperchen entwickeln solle, ist auf keine

Weise anzunehmen. Sie müssen daher entweder die aus den Wandungen der Gefäſse strahlende Wärme auffangen und an die sie berührenden Wassertheilchen zur Bildung von Dampf abgeben, oder aber die im Wasser befindlichen, unsichtbar kleinen Dampfbläschen hängen sich an sie, werden durch ihre Vereinigung vergröſsert und steigen dann auf, wie die Luftbläschen in gashaltigen Flüssigkeiten sich an allen, insbesondere rauhen und faserigen Körpern ansammeln. Welcher von beiden Ansichten wir auch huldigen, so dient jede zur Erklärung der durch diese Körperchen erzeugten Wirkung, und die Strahlung aus den Flächen ist ohnehin für sich, wie wir sehn werden, genügend erwiesen.

Es war seit langer Zeit bekannt, daſs die Temperatur des siedenden Wassers bei gleicher Barometerhöhe zwar im Ganzen eine constante sey, daſs jedoch kleine Unterschiede sich unverkennbar zeigen. Achard[1] redet von solchen wenig merkbaren Abweichungen, die namentlich auch durch unauflösliche, im Wasser befindliche Körper hervorgebracht werden, und giebt eine sehr ausführliche Tabelle über die verschiedensten Substanzen sowohl, als auch die Stärke ihres Einflusses. G. G. Schmidt[2] kam bei seinen Untersuchungen über die Elasticität des Wasserdampfes zu der Ueberzeugung, daſs der Siedepunct sich überhaupt nicht mit einer 0°,1 R. erreichenden Sicherheit bestimmen lasse, und betrachtet dieses als eine Folge des mit wachsender Elasticität aufsteigenden, beim Entweichen aber seine Spannung momentan verlierenden Wasserdampfes[3]. Allerdings befindet sich die Oberfläche des Quecksilberfadens eines in siedendes Wasser eingetauchten Thermometers oft in einer oscillirenden Bewegung, es ist jedoch schwer zu entscheiden, ob der angegebene Grund dieses erklärbar macht, oder ob dieses Schwanken eine Folge der in ungleicher Menge

---

1 Mém. de Berlin. 1785. p. 2. Ann. de Chim. T. X. p. 49. Schweigger's Journ. XXVII. 27.

2 Gren N. Journ. d. Physik. Th. IV. S. 294.

3 Die sehr wortreich erzählten Versuche, welche Bellani angestellt hat, wobei er den Einfluſs fester Körper auf die Temperatur des Siedens bestätigt, übrigens den Siedepunct schwankender fand, als mit andern Beobachtungen vereinbar ist, übergehe ich, da sie keine neue Aufklärung der Aufgabe enthalten. S. Brugnatelli Giorn. T. II. p. 415.

zuströmenden Wärme ist. Befindet sich das Wasser in fortdauernd gleichmäſsigem Sieden, hält man das Thermometer unverrückt in gleicher Entfernung vom Boden des Gefäſses, und sorgt man dafür, daſs der hervorragende Theil der Röhre nicht zu ungleich abgekühlt werde, so bleibt das Ende des Quecksilberfadens constant auf dem gegebenen Siedepuncte. Auch Egen[1] hat den Einfluſs der Tiefe, bis zu welcher die Thermometerkugel ins Wasser getaucht worden ist, auf die Höhe des Siedepunctes und das stete Schwanken des unbekleideten Thermometers wahrgenommen; wenn man aber die Kugel einhüllt, so hängt die Höhe des alsdann fixen Siedepunctes von der Beschaffenheit der Bekleidung ab. Am meisten Aufmerksamkeit erregten die Resultate, welche Gay-Lussac[2] durch seine Versuche erhielt. Hiernach fand er, daſs ein Thermometer im Wasser, welches in einem gläsernen Gefäſse siedete, 101°,232 C. zeigte, aber auf 100°,329 herabging, wenn er fein gepulvertes Glas hineinstreute, und auf 100°,0, wenn er feine Metallspähne hineinbrachte; in einem metallenen Gefäſse dagegen zeigte das Thermometer genau 100° C.; die Weite des Gefäſses hatte keinen Einfluſs auf den Siedepunct und ebenso wenig die Menge der eingestreuten metallischen Feilspähne. Seitdem nahm man allgemein an, daſs das Wasser in metallenen Gefäſsen leichter siede, als in gläsernen, und auch dann leichter, wenn Metalltheilchen im Wasser schwimmen; Biot[3] gab an, daſs Wasser, bis zum Aufhören des Siedens um eine Kleinigkeit abgekühlt, durch einige hineingeworfene Feilspähne wieder zu sieden beginne, und wagt nicht, die Ursache dieser Anomalie anzugeben, stellt aber als Regel auf, daſs der Siedepunct der Thermometer mit Anwendung eines metallenen Gefäſses bestimmt werden müsse[4]. Diese Ungewiſsheit der Sache bewog mich selbst, in Verbindung mit L. Gmelin[5] eine Reihe Versuche anzustellen, wozu sich sehr geeignete Mittel darboten. Das hiesige Cabinet enthält einen Apparat für die Lehre der

---

1 Poggendorff's Ann. XI. 285.

2 Ann. de Chim. T. LXXXII. p. 174. Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 207. Schweigger's Journ. XXIV. 327.

3 Traité cet. T. I. p. 43.

4 Man weiſs jetzt, daſs der Siedepunct der Thermometer im Dampfe constant erhalten wird, s. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 890.

5 G. LVII. 211.

Wärmeleitung mit 8 cylindrischen Gefäfsen von 3 Zoll Höhe und 1,3 Zoll Weite, sämmtlich von gleicher Dicke der Wandungen und des Bodens. Wir wählten deren 5 von Kupfer, Messing, Zinn, Blei und Marmor, nahmen hinzu einen möglichst ähnlichen Tiegel von dünnem Silber und einen von Platin, einige abgesprengte Medicingläser von nahe ähnlicher Gröfse, ein Gefäfs von Fayence, eins von Porcellan und einen irdenen Topf, brachten in allen reines Wasser auf die nämliche Weise zum Sieden, und beobachteten den Siedepunct an demselben Thermometer. In allen stand das Thermometer höher, wenn die Kugel den Boden berührte, und dieser Unterschied war am gröfsten bei Messing, wo er 0°,7 R. betrug, am geringsten aber bei Porcellan, wo er nur 0°,1 R. erreichte. Die Thermometerstände selbst, wenn sich die Kugel 0,5 Zoll unter der Oberfläche des Wassers befand, waren folgende, den Siedepunct der Scale als Grenze angenommen:

Gefäfse von	Grade R.	Gefäfse von	Grade R.
Silber	— 0°,20	Porcellan	— 0°,05
Platin	— 0,50	weifses Glas . . .	0,00
Kupfer	+ 0,01	grünes Glas . . .	+ 0,60
Messing	— 0,15	grünes Glas . . .	0,00
Marmor	— 0,15	grünes Glas . . .	+ 0,10
Blei	— 0,10	Fayence	+ 0,30
Zinn	— 0,10	irdener Topf . . .	+ 0,29

Bei weifsem und der einen Sorte des grünen Glases zeigte sich daher kein Unterschied, und vermuthlich war der Siedepunct des von uns gebrauchten Thermometers in einem solchen Gefäfse oder in einem kupfernen, wobei die Abweichung am geringsten ist, bestimmt; hineingeworfener Sand brachte den Siedepunct um einige Zehntel eines Grades herab, Kupferfeilspähne aber, wovon der gröfste Theil auf dem Boden lag, ein anderer geringerer aber obenauf schwamm, schien keine Wirkung zu haben[1]. Nehmen wir den gröfsten Unterschied zwi-

---

1 Diese Abweichung von Gay-Lussac's Erfahrungen beruhn vermuthlich auf dem Umstande, dafs wir die Gefäfse der Gleichmäfsigkeit wegen neben einander stehend in einem Sandbade erhitzten, wonach also das Zuströmen der Wärme und das Aufsteigen des Dampfes zu gering war, um die Metallspähne mit sich empor zu reifsen.

schen Platin und Glas, so beträgt dieser 1°,1 R. oder 1°,375 C., also mehr, als Gay-Lussac gefunden hat, bei allen andern ist er geringer, und ein bestimmter fester Unterschied zwischen der Siedehitze in gläsernen und metallenen Gefäfsen findet also hiernach nicht statt, doch siedet das Wasser in allen metallenen Gefäfsen, mit Ausnahme des Kupfers, bei geringerer Wärme, als in gläsernen. Ein nicht unbedeutender Umstand entging dabei unserer Aufmerksamkeit nicht. Der silberne Becher hatte an einer Stelle des Bodens, etwas seitwärts, einen schwarzen Fleck. Sobald die Kugel diesen berührte, stieg das Thermometer bis + 0°,5 R. und kehrte, mit der blanken Oberfläche in Berührung gebracht, wieder auf — 0°,10 zurück. Hierin scheint mir der Beweis für die Anwesenheit strahlender Wärme zu liegen.

Rudberg[1] war blofs mit Gay-Lussac's Versuchen bekannt, wenigstens erwähnt er diese allein; er wiederholte diese und fand den Siedepunct, wenn er in einem eisernen Gefäfse bei 100° C. gefunden wurde, in einem gläsernen Gefäfse bei 101°,3 liegend, statt dafs Gay-Lussac 101°,23 gefunden habe. Dafs bei verschiedenen Glassorten der Siedepunct ungleich hoch liege, geht aus den eben angegebenen Versuchen hervor, allein auch die verschiedenen Metalle erzeugen einen Unterschied, und anstatt dafs Rudberg blofs eine eigenthümliche Sorte Glas und Eisen mit einander verglich, redet Gay-Lussac im Allgemeinen von dem Unterschiede, welcher sich in dieser Hinsicht zwischen Metallen und Glas zeigt. Zum Glück hat dieses Problem gegenwärtig, da man den Siedepunct der Thermometer vermittelst Wasserdampfes bestimmt, seine praktische Wichtigkeit verloren, es hat gegenwärtig nur noch wissenschaftliches Interesse, ist aber noch keineswegs vollständig gelöst, wie aus der Ungleichheit der erhaltenen Resultate hervorgeht; denn da die einander am nächsten kommenden, durch Gay-Lussac und Rudberg gefundenen, dennoch merklich von einander abweichen, so liegt hierin ein Wahrscheinlichkeitsgrund für die Richtigkeit der durch Gmelin und mich gefundenen Bestimmungen. Welches auch immer die Ursache dieser Eigenthümlichkeit, das Wasser bei ungleichen Temperaturen zum Sieden zu bringen, seyn mag, warum sollte sie bei

1 Poggendorff's Ann. XL. 49.

allen Metallen und im Gegentheil bei allen Glasarten in gleicher Stärke wirksam seyn?

Die Ursache dieser Ungleichheit der Siedehitze des Wassers in verschiedenen Gefäſsen findet RUDBERG in der Adhäsion des Wassers zu den Wandungen oder, wie er sich wörtlich ausdrückt, darin, daſs das Wasser vom Glase stärker angezogen werde, als vom Metalle. Obgleich keine andere möglich seyn soll, so ist doch diese zuverlässig durchaus unstatthaft, denn die Dampfblasen steigen unter allen Bedingungen vorzugsweise aus und in der Mitte des Wassers auf, wohin die nur in unmeſsbare Ferne wirkende Adhäsion nicht reichen kann. Wollten wir aber auch annehmen, die Adhäsion des Wassers oder selbst auch des Dampfes am Boden der Gefäſse sey stärker beim Glase als beim Metalle, und diese müſsten daher eine höhere Temperatur annehmen, ehe sie sich loszureiſsen und aufzusteigen vermöchten, so würden sie doch in der Mitte und nahe an der Oberfläche des Wassers ihren Ueberschuſs wieder abgeben, wie dieses vor dem Sieden geschieht. Weit mehr Wahrscheinlichkeit hat daher die oben angegebene Ursache für sich, wonach die namentlich vom Boden ausgehende strahlende Wärme diese Wirkung hervorbringt, was darin Bestätigung findet, daſs das Glas ein weit diathermanerer Körper ist, als Metall, selbst für dunkle Wärme, doch mehr für leuchtende, weswegen auch die von mir und GMELIN gefundenen Unterschiede, auſser für Platin und eine einzige Glassorte, alle geringer sind, als die durch GAY-LUSSAC und RUDBERG erhaltenen, da wir dunkle Wärme im Sandbade, jene aber ohne Zweifel leuchtende anwandten. Hierfür sprechen auch RUMFORD's Versuche, wonach heiſses Wasser in gläsernen Flaschen von weit dickeren Wandungen schneller erkaltete, als in metallenen (§. 230). Wird diese strahlende Wärme durch kleine Körperchen aufgefangen und zur Dampfbildung verwandt, so steigt die Wärme nicht, eine gleiche Wirkung kann aber die glatte Thermometerkugel nicht äuſsern, und auſserdem bleibt fraglich, ob diese kleinen Partikeln nicht bloſs die unsichtbaren Dampfbläschen vereinigen, ihr Aufsteigen erleichtern und dadurch die Temperatur des siedenden Wassers herabbringen.

520) Im genauesten Zusammenhange mit diesen Phänomenen steht ein anderes, nämlich das *Sieden der Salzsolutionen,*

wobei die siedende Flüssigkeit eine zunehmend höhere Temperatur hat, als reines Wasser, während die Wärme des von beiden aufgestiegenen Dampfes ganz gleich ist. Man wuſste lange im Allgemeinen, daſs Wasser, worin Salze aufgelöst sind, eine höhere Temperatur beim Sieden annimmt, als wenn es rein ist, es wurde daher als Bedingung gefordert, daſs für die Bestimmung des Siedepunctes der Thermometer reines Wasser angewandt werden müsse, und Salzsclutionen wurden angewandt, um nach Art des Marienbades eine höhere Wärme, als die des siedenden Wassers, ohne unmittelbare Anwendung des Feuers, auf gewisse Substanzen einwirken zu lassen; die eigentliche wissenschaftliche Aufgabe ist aber, das Verhältniſs der Temperaturen siedender Solutionen zu der Menge und Lösbarkeit der verschiedenen Salze aufzufinden. Eine Menge hierher gehöriger Versuche hat Griffith[1] angestellt, die jedoch, wie Poggendorff bemerkt, nicht wissenschaftlich genug sind und manches zu wünschen übrig lassen. Er brachte Wasser mit einem Ueberschusse des jedesmaligen Salzes in einem porcellanenen Gefäſse über einer Argand'schen Lampe zum Sieden und maſs die hierzu gehörige Temperatur. Den Salzgehalt der Lösung maſs er dadurch, daſs er einen Theil der Lösung abdampfte und die Menge des enthaltenen Salzes durch das Gewicht bestimmte; er gelangte auf diese Weise zu dem Resultate, daſs der Siedepunct nicht stets im geraden Verhältnisse zu der Menge des enthaltenen Salzes und seiner Lösbarkeit steht. Die nachfolgende Tabelle, welche die gefundenen Gröſsen enthält, wird am besten dazu dienen, die daraus hervorgehenden Folgerungen zu entnehmen.

---

1 Journal of Science. N. XXXV. p. 90. Berzelius Jahresbericht 1826. S. 50. Poggendorff's Ann. II. 227. Wiener Zeitschrift. Th. I. S. 291 u. s. w.

Solutionen.	Procente des Salzes.	Siedepunct in Graden C.
Essigsaures Natron	60	124°,5
Salpetersaures Natron	60	118
Weinsaures Kali-Natron . .	90	115,6
Salpeter	74	114,5
Salmiak	50	113,3
Schwefelsaures Nickel . . .	65	112,8
Weinsaures Kali	68	112,3
Kochsalz	30	106,8
Salpetersaure Strontianerde . .	53	106,8
Schwefelsaure Talkerde . . .	57,5	105
Saures, schwefelsaures Kali . .	....	105
Borax	52,5	105
Phosphorsaures Natron . . .	....	105
Kohlensaures Natron	....	104,5
Salzsaurer Baryt	45	104,5
Schwefelsaures Zinkoxyd . .	45	104,5
Alaun	52	104,5
Oxalsaures Kali	40	104,5
Oxalsaures Ammoniak . . .	29	103,3
Blutlaugensalz	55	103,3
Chlorsaures Kali	40	103,3
Boraxsäure	....	103,3
Schwefelsaures Kalikupfer . .	40	102,8
Schwefelsaures Kupferoxyd . .	45	102,2
Schwefelsaures Eisenoxydul . .	64	102,2
Salpetersaures Bleioxyd . . .	52,5	102,2
Essigsaures Bleioxyd	41,5	101,7
Schwefelsaures Kali	17,5	101,7
Salpetersaurer Baryt	26,5	101,1
Weinstein	9,5	101,1
Essigsaures Kupferoxyd . . .	16,5	101,1
Cyanquecksilber	35	101,1
Quecksilbersublimat	....	101,1
Schwefelsaures Natron . . .	31,5	100,55

521) Eine sehr ausführliche Untersuchung über die Veränderung des Siedepunctes durch die verschiedenen, in ungleichen Quantitäten aufgelösten Salze hat LEGRAND angestellt[1],

1 Recherches sur les Variations que les sels dissous en diverses proportions produisent dans le point d'ébullition de l'eau. Par. 1835. 8. Ann. de Chim. et Phys. T. LIII. p. 423. Auszug in l'Institut 1835. N. 118. Poggendorff's Ann. XXXVII. 379.

deren Resultate wir hier in einem kurzen Auszuge mittheilen wollen. Das hierbei gebrauchte Thermometer war sehr genau und der nicht eingetauchte Theil seiner Röhre wurde berücksichtigt; die Flüssigkeit befand sich in einer 6 Z. langen, 11 Lin. weiten Glasröhre oder in einem Platintiegel, und das Thermometer wurde durch einen, zum freien Durchgange des Dampfes durchbohrten Kork festgehalten. Die Salze waren vorher getrocknet; die aufgelösten Mengen wurden durch das Gewicht bestimmt, und zwar bei zerfliefslichen durch den Gewichtverlust der Flasche, woraus man sie nahm; um aber für jeden Augenblick das Verhältnifs ihrer Menge zu der des Wassers zu kennen, welches sich durch den Verlust des Dampfes fortdauernd verminderte, ward das Gefäfs gewogen, worin sich die Solution befand, und das Gewicht des Gefäfses und des Salzes abgezogen. Bei manchen Solutionen findet vor dem Sieden und während desselben ein *heftiges Stofsen* statt, wodurch das Thermometer beträchtliche Schwankungen erleidet; Legrand fand aber, dafs einige hineingeworfene Stücke Zink oder Eisen dieses aufheben, und er bediente sich daher des ersteren Metalls, um dieses Hindernifs zu beseitigen, da ohnehin dasselbe in der Regel gar nicht angegriffen wurde. Bei der Bestimmung der Siedehitze gesättigter Solutionen bemerkte Legrand eine ähnliche Erscheinung, als welche sich beim Gefrieren des Wassers zeigt; die Temperatur wuchs bedeutend und sank sofort herab, wenn ein Theil des Salzes niederfiel, worauf sie dann constant blieb. Um das dieser Temperatur zugehörige quantitative Verhältnifs der Sättigung zu finden, wurde wieder Wasser zugesetzt, die Temperatur der gesättigten Lösung wieder hergestellt und dann gewogen, zur Controle aber die zur Lösung erforderliche Quantität Salz und Wasser vereinigt, und nachdem die vollständige Lösung durch steigende Hitze erfolgt war, abermals gewogen. Die so gefundene Temperatur soll zugleich hinreichen, um den Salzen ihr gesammtes Krystallwasser zu nehmen. Zeichnet man graphisch die über dem Siedepuncte der reinen Wassers liegenden Grade des Centesimalthermometers, welche dem Siedepuncte der Solutionen zugehören, als Ordinaten, und die Procente der aufgelösten Salzmengen als Abscissen, so giebt die durch die Endpuncte gezogene Linie die *Curve der Verzögerung des Siedepunctes*. Von diesen Curven giebt es drei Arten; die eine ist von ein-

facher Krümmung, die beiden andern haben einen Wendepunct, und zwar ist bei den einen die Krümmung anfangs gegen die Axe der Abscissen, bei den andern gegen die der Ordinaten gewandt. Die folgenden abgekürzten Tabellen enthalten in der ersten Columne die Procente des aufgelösten Salzes (pC.), in der zweiten zuerst die Temperatur, bei welcher das reine Wasser siedete, und dann diejenige, bei welcher das Sieden der bezeichneten Solutionen statt fand (t′), in Centesimalgraden.

Chlorstrontium.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0,0	100°,4	37,9	104°,4	68,9	110°,4	104,0	116°,4
16,7	101,4	48,8	106,4	79,6	112,4	110,9	117,4
25,2	102,4	59	108,4	91,2	114,4	117,5	118,25

Chlorcalcium.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,1	55,6	114°,1	104,0	130°,1	203,0	158°,1
16,5	102,1	61,6	116,1	117,2	134,1	221,6	162,1
25,8	104,1	67,6	118,1	129,9	138,1	241,9	166,1
32,6	106,1	73,6	120,1	142,8	142,1	264,2	170,1
38,5	108,1	79,8	122,1	156,2	146,1	288,5	174,1
44,0	110,1	86,0	124,1	170,5	150,1	314,8	178,1
49,7	112,1	92,2	126,1	186,0	154,1	325,0	179,6

Neutrales weinsaures Kali.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,3	82,3	104°,3	156,5	108°,3	237,9	112°,3
26,9	101,3	100,1	105,3	176,1	109,3	259,5	113,3
47,2	102,3	118,5	106,3	196,2	110,3	281,6	114,3
65,0	103,3	137,3	107,3	216,8	111,3	296,2	114,97

Kohlensaures Kali.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,3	65,9	108°,3	117,1	118°,3	167,7	128°,3
13,0	101,3	77,6	110,3	127,0	120,3	178,1	130,3
22,5	102,3	88,2	112,3	137,0	122,3	188,8	132,3
38,8	104,3	98,0	114,3	147,1	124,3	199,6	134,3
53,1	106,3	107,5	116,3	157,3	126,3	205,0	135,3

Salpetersaurer Kalk.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,1	71,8	108°,1	148,1	120°,1	274,7	140°,1
15,0	101,1	85,3	110,1	172,2	124,1	302,6	144,1
25,3	102,1	98,4	112,1	197,0	128,1	333,2	148,1
42,6	104,1	111,2	114,1	222,2	132,1	351,2	150,1
57,8	106,1	123,8	116,1	248,1	136,1	362,2	151,1

Essigsaures Natron.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,1	30,5	104°,1	83,4	112°,1	156,1	120°,1
9,9	101,1	42,9	106,1	98,8	114,1	179,3	122,1
17,6	102,1	55,8	108,1	115,8	116,1	204,5	124,1
24,1	103,1	69,2	110,1	134,9	118,1	209,0	125,47

Essigsaures Kali.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,2	85,3	112°,2	180,1	126°,2	436,9	150°,2
10,5	101,2	97,6	114,2	196,1	128,2	500,0	154,2
20,0	102,2	110,3	116,2	213,0	130,2	569,9	158,2
36,4	104,2	123,4	118,2	248,7	134,2	646,6	162,2
49,8	106,2	136,9	120,2	287,3	138,2	730,4	166,2
61,6	108,2	150,2	122,2	330,8	142,2	775,0	168,2
73,3	110,2	165,1	124,2	380,6	146,2	798,2	169,2

Chlornatrium.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,2	10,8	101°,7	23,1	104°,2	35,8	107°,2
4,4	100,7	13,4	102,2	27,7	105,2	39,7	108,2
7,7	101,2	18,3	103,2	31,8	106,2	41,2	108,6

Chlorkalium.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,25	13,2	101°,75	31,4	104°,25	50,5	107°,25
4,7	100,75	17,1	102,25	37,8	105,25	56,9	108,25
9,0	101,25	24,2	103,25	44,2	106,25	59,4	108,65

Chlorbaryum.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,2	19,6	101°,2	32,5	102°,2	56,0	104°,2
11,0	100,7	26,2	101,7	44,5	103,2	60,1	104,6

Kohlensaures Natron.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,0	14,4	101°,0	26,7	102°,0	44,7	104°,0
7,5	100,5	20,8	101,5	36,8	103	48,5	104,63

Phosphorsaures Natron[1].

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	99°,9	40,8	101°,9	76,4	103°,9	105,0	105°,9
21,0	100,9	59,4	102,9	91,5	104,9	112,6	106,5

Chlorsaures Kali.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t.
0	100°,2	14,64	101°,2	29,28	102°,2	43,92	103°,2	61,5	104°,4

Salpetersaures Kali.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,2	42,2	103°,2	93,2	106 ,2	233,0	112°,2
12,2	101,2	59,6	104,2	140,6	108,2	283,3	114,2
26,4	102,2	78,3	105,2	185,9	110,2	335,1	116,1

Salpetersaures Natron.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°,3	57,6	106°,3	120,3	112°,3	188,6	118°,3
18,7	102,3	77,9	108,3	142,4	114,3	212,6	120,3
37,9	104,3	98,8	110,3	165,2	116,3	224,8	121,3

Krystallisirtes salpetersaures Ammoniak.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t.
0	100°	114,9	110°	254,0	124°	1081,5	148°
10	101	142,4	112	440,2	128	1273,0	152
20,5	102	172,0	114	537,3	132	1504,0	156
42,4	104	204,4	116	645,0	136	1775,0	160
65,4	106	238,8	118	770,5	140	2084,0	164
89,4	108	275,3	120	915,5	144	unendl.	180

---

1 In dem Zustande, wo es alles Wasser verloren hat, bis auf das, was es behalten mufs, um nicht pyrophosphorsaures Natron zu werden.

Salmiak.

pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′	pC.	t′
0	100°	19,7	103°	35,7	106°	73,3	112°
7,8	101	25,2	104	47,3	108	88,1	114
13,9	102	30,5	105	59,9	110	88,9	114,2

Marx[1] fand, dafs bei 340 Lin. Barometerhöhe eine Lösung von salpetersaurem Natron, in Wasser von 16°,8 C. gesättigt, bei 101° C.; in Wasser von 56°,2 gesättigt bei 102°,2 und in siedendem gesättigt bei 121° siedete; gesättigte Kochsalzlösung erforderte 107°,4, eine bei 15° gesättigte Salpetersolution 101°,4 und eine bei 100° gesättigte 112° C. zum Sieden. Hierbei scheint indefs der Einflufs des 3 Lin. über dem Mittel betragenden Barometerstandes nicht berücksichtigt worden zu seyn.

Der Ueberblick der hier mitgetheilten Gröfsen führt im Ganzen zu dem Resultate, dafs durch eine verhältnifsmäfsig beträchtliche Quantität Salz die Temperatur nicht eben bedeutend hinaufgerückt wird. Uebrigens sind diese Quantitäten bei den verschiedenen Salzen sehr ungleich und liegen z. B. nach Legrand für eine Temperaturerhöhung von 1° C. zwischen dem Maximum von 26,9 Procent beim neutralen weinsauren Kali und dem Minimum von 7,7 Procent beim Chlornatrium. Es stimmt dieses mit einer andern Erscheinung überein, nämlich dafs der Siedepunct des absoluten Alkohols durch eine nicht bedeutend grofse Menge beigemischten Wassers nach den Erfahrungen von Tralles[2] nur unmerklich erhöht wird.

522) Die mit der gröfseren Sättigung steigende Hitze des Siedepunctes der Salzsolutionen war seit langer Zeit bekannt; weit weniger scheint dieses mit einer andern Erfahrung der Fall gewesen zu seyn, wonach die Hitze des aus ihnen aufsteigenden Dampfes der des reinen Wasserdampfes vollkommen gleich ist. Rudberg[3] war wohl ohne Zweifel der Erste, welcher diesen wichtigen Satz aufstellte und durch entscheidende Ver-

---

1 Schweigger's Journ. LVII. 402.

2 G. XXXVIII. 365.

3 Poggendorff's Ann. XXXIV. 257. Faraday behauptete schon früher, der aus Salzsolutionen aufsteigende Dampf habe nur 100° C. Wärme, s. Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 325, allein man hielt dieses nach der herrschenden Ansicht für irrig.

uche genügend begründete, denn im Allgemeinen scheint man ich mit der Voraussetzung begnügt zu haben, dafs der aus iner Flüssigkeit aufsteigende Dampf mit dieser eine gleiche 'emperatur habe, was auch aus den von ihm angeführten ieufserungen der bedeutendsten Physiker hervorgeht. Wenn iot[1] sagt, dafs bei gleicher Wärme die Elasticität der Dämfe von Salzsolutionen geringer sey, als die der reinen Waserdämpfe, so soll dieses heifsen, dafs z. B. bei der Siedehitze ie Dämpfe des reinen Wassers den atmosphärischen Luftdruck berwinden, was aber die der Solutionen nicht vermögen, da iese dann noch nicht sieden. Gay-Lussac[2] meint, die 'emperatur der Dämpfe sey die der obersten Lage der Flüsigkeiten, und Pouillet[3] scheint seines tiefen Eindringens in ie Wärmephänomene ungeachtet über dieses Verhalten des)ampfes mit sich selbst nicht im Reinen gewesen zu seyn. iudberg bediente sich zu seinen Versuchen eines gleichen pparates, als wovon er zur Auffindung des Siedepunctes der 'hermometer Gebrauch machte[4] und welcher hierzu ohne Wierrede vollkommen geeignet ist, verglich die unter ungleihem Luftdrucke erzeugten Dämpfe von reinem Wasser mit em von mehr oder weniger gesättigten Lösungen des salpeteruren Kalkes, des Salpeters, des kohlensauren Kali's und des ilzsauren Kalkes, reducirte die gemessenen Temperaturen auf inen gleichen Barometerstand von 0,76 Meter bei 0° Tempeitur, und gelangte dadurch zur Begründung von folgendem richtigen Satze: *der Dampf, welcher aus einer siedenden alzlösung aufsteigt, hat durchaus dieselbe Temperatur, als er unter gleichem Luftdrucke aus reinem siedenden Wasser*

1 Traité cet. T. I. p. 285.

2 Leçons de Physique. T. I. p. 416. Ann. de Chim. et Phys. . XLIX. p. 394.

3 Élémens de Physique cet. 2me éd. T. I. p. 360; die Stelle steht ich in der 1sten Aufl. T. I. p. 356. „Ainsi dans la dissolution de sel dinaire, par exemple, la vapeur qui se forme pendant l'ébullition, t à la température de 109° C. et sous la pression de 0m,76; c'est-dire que sa tension n'est pas au Maximum, ou plutôt sa tension est u maximum dependant de son contact avec la dissolution et moindre e le maximum absolu." In der 3ten Auflage fehlt diese Stelle, und att dessen wird gesagt, dafs der Dampf der Solutionen reiner Wasrdampf und von diesem nicht verschieden sey.

4 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 898. Fig. 86.

Dämpfe von Alkohol, Terpentinspiritus u. s. w. gleiche Temperatur mit den Flüssigkeiten haben, aus denen sie gebildet werden, daſs sie aber zugleich nach der Condensation wieder zu diesen Flüssigkeiten werden, statt daſs die Dämpfe der Salzsolutionen nicht diese, sondern reines Wasser geben und sich daher auch nur wie Wasserdämpfe verhalten können.

So viel mir bekannt, ist noch keine Erklärung dieses erst neuerdings näher untersuchten Verhaltens gegeben worden, und es wird daher erlaubt seyn, auf einige Puncte aufmerksam zu machen, die hierbei in Betrachtung kommen. Nicht unbeachtet darf der Umstand bleiben, daſs alle im Wasser nicht auflösliche Körper in kleineren oder gröſseren Massen das Sieden des Wassers erleichtern (§. 519). Alle diese Substanzen zeigen die Eigenthümlichkeit, daſs sie das an ihnen hängende und selbst das in ihre Poren eingedrungene Wasser mehr oder minder leicht verdunsten lassen, d. h. die äuſsere einwirkende Wärme verbindet sich damit, verwandelt es in Dampf und entzieht es ihnen auf diese Weise. Ganz diesem entgegengesetzt ist das Verhalten der Salze, zwar der einen mehr als der andern, im Ganzen aber haben sie alle, sofern sie im Wasser auflöslich sind, eine stärkere Anziehung zu diesem, als die nicht auflöslichen Körper; sie ziehen den Wasserdampf aus der Luft bei mittlerer Feuchtigkeit an, statt daſs die unauflöslichen Körper ihn abgeben, und zwar oft mit solcher Gewalt, daſs sie dadurch zerflieſsen. Wird dann ihren Lösungen im Wasser Wärme zugeführt, so ist die der Siedehitze des Wassers zugehörige Menge derselben, die wir durch T bezeichnen wollen, erforderlich, um die Verwandlung in Dampf zu bewirken, auſserdem muſs aber noch eine gewisse Quantität Wärme, welche t heiſsen möge, hinzukommen, um die Verwandtschaft des Wassers zu ihnen aufzuheben und dieses von ihnen loszureiſsen, so daſs ihr Siedepunct $T + t$ seyn muſs. Der Werth von T ist durch den Barometerstand bedingt, die Gröſse t dagegen hängt von der Beschaffenheit des Salzes und der Quantität ab, in welcher es dem Wasser zugesetzt ist, vollständige Lösung desselben vorausgesetzt.

524) In sehr nahem Zusammenhange hiermit steht eine andere Aufgabe, nämlich über die Siedehitze gemischter Flüssigkeiten und die Temperatur des aus ihnen beim Sieden aufsteigenden Dampfes. Die Beantwortung dieser Frage ist mit einer

grofsen Menge meistens unüberwindlicher Schwierigkeiten verbunden, worin wohl der Grund liegen mag, dafs hierfür bisher so wenig geschehen ist. Von den zwei vereinten Flüssigkeiten[1] siedet stets die eine leichter als die andere, und obgleich die gebildeten Dämpfe in der Regel aus beiden zusammengesetzt sind, so behalten sie doch das quantitative Mischungsverhältnifs der Flüssigkeit nicht auf die Dauer, sondern von der einen verdampft mehr, als von der andern, und die Beschaffenheit der siedenden Flüssigkeit ändert sich daher in jedem Augenblicke; die Resultate werden hierdurch verschieden, und ohne sehr zusammengesetzte Messungen kann man nicht wissen, welchen Mischungsverhältnissen sie zugehören. Wir müssen uns also in Beziehung auf diese Aufgabe mit den wenigen bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen begnügen.

Befinden sich zwei Gasarten in einem begrenzten Raume vereint, so ist ihre Elasticität der Summe der Elasticitäten beider gleich. Eben dieses findet statt, wenn eine Gasart mit Dampf vereint wird, namentlich ist es der Fall bei den Verbindungen von Luft und Wasserdampf[2], und so läfst sich schon der Analogie nach schliefsen, dafs sich bei gemischten Dämpfen das nämliche Verhalten zeigen werde. Aus meinen Versuchen über die Vereinigung verschiedener Dämpfe[3] geht indefs hervor, dafs, wenn zwei Arten Dampf von den Spannungen p und p' in einem abgeschlossenen Raume vereinigt werden, ihre gemeinschaftliche Spannung nicht $= p + p'$, sondern um eine unbedeutende Kleinigkeit geringer sey. Das Gegentheil fand Gay-Lussac[4] rücksichtlich der vereinten Quantitäten; denn da bei 100° C. und 0,76 Meter Luftdruck 1 Gramm Wasser 1,696 Liter Dampf giebt, eine gleiche Menge absoluter Alkohol aber 0,659 Liter, so mufsten beide vereint $\frac{1,696 + 0,659}{2} = 1,178$ Liter für 1 Gramm der Mischung beider geben, wogegen die Messung 1,1815 zeigte. Wurden 1 Th. Wasser und 2 Th. absoluter Alkohol gemischt, so mufste 1 Gramm der Mischung

1 Die Erscheinungen, welche mehrere vereinte Flüssigkeiten darbieten, sind bis jetzt noch gar nicht eigentlich untersucht worden.

2 Vergl. Art. *Gas*. Bd. IV. S. 1034.

3 Physikalische Abhandl. Giefs. 1816.

4 Ann. de Chim. T. XCV. p. 314. Biot traité. T. I. p. 298.

$\frac{1,696 + 1,318}{3} = 1,005$ Liter Dampf geben, der Versuch zeigte aber 1,0056 Liter. Welches von diesen Resultaten das richtige sey und ob nicht vielmehr die Wahrheit zwischen beiden Fehlern in der Mitte liege, läſst sich ohne neue Versuche nicht entscheiden. Der Analogie nach, sofern fast ohne anderweitig bedingte seltene Ausnahmen alle vereinte Körper sich durch gegenseitige Anziehung verdichten, ist auf jeden Fall nicht wahrscheinlich, daſs eine Vergröſserung des Volumens durch Vereinigung von Dämpfen eintreten sollte, und wir können also mit genügender Annäherung annehmen, daſs die Elasticität gemischter Dämpfe im unveränderten Raume höchstens der Summe ihrer beiderseitigen Elasticitäten gleich sey. Hiermit vereinbar ist ein anderes Resultat, welches uns der eigentlichen vorliegenden Aufgabe näher bringt. Befindet sich im Torricelli'schen Vacuum über dem Quecksilber eine leichter siedende Flüssigkeit, ist also der leere Raum mit dem der statt findenden Temperatur proportional dichten Dampfe erfüllt, und läſst man durch das Quecksilber eine schwerer siedende, mit der leichtern mischbare Flüssigkeit aufsteigen, so vermindert sich der früher erfüllte Raum. Die Ursache hiervon liegt nicht fern; die zu der leichter siedenden Flüssigkeit hinzutretende schwerer siedende Flüssigkeit verändert den früher tiefer liegenden Siedepunct, rückt ihn höher hinauf und vermindert dadurch die Elasticität des bereits gebildeten Dampfes. Eben dieser Erfolg tritt ein, wenn das Torricelli'sche Vacuum mit Wasserdampf erfüllt ist und zu dem nicht verdampften Antheile Wasser ein auflösliches Salz oder eine Salzsolution gebracht wird.

525) Eben so einfach und genau hiermit übereinstimmend sind die Erscheinungen, welche sich beim Sieden gemischter Flüssigkeiten zeigen. Gay-Lussac[1] äuſsert sich hierüber der allgemeinen Ansicht gemäſs, indem er sagt: der Siedepunct eines Gemenges zweier flüchtigen Flüssigkeiten, welche keine chemische Einwirkung auf einander äuſsern, kann variiren, ist aber im Allgemeinen eingeschlossen zwischen zwei Grenzen, nämlich zwischen dem Siedepuncte der flüchtigsten Flüssigkeit und der Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX, p. 393. Poggendorff's Ann. XXV. 498.

beider Flüssigkeiten gleich ist dem Druck der Atmosphäre. Man kann dieses nicht wohl anders verstehn, als dafs die Temperatur des Siedepunctes der flüchtigsten Substanz die unterste Grenze bilde, also das Sieden bei einer Temperatur statt finde, als wenn diese allein vorhanden wäre, von hier an aber nach dem quantitativen Verhältnisse und der Beschaffenheit der beigemischten Flüssigkeit stets höher hinaufrücke. Der Zusatz, dafs die Flüssigkeiten keine chemische Wirkung auf einander ausüben sollen, darf nicht unbeachtet bleiben; es ist aber eine nicht leichte Aufgabe, zu entscheiden, ob bei solchen Flüssigkeiten, die sich sehr innig mit einander verbinden, z. B. beim Weingeist und Wasser, überall keine chemische Einwirkung statt finde, die übrigens dann in ihren Folgen sich zeigen müfste, wenn die Beschaffenheit beider vereinter Flüssigkeiten eine wesentliche Veränderung erleidet. Ist die ausgesprochene Ansicht richtig, dafs hiernach die niedrigste Temperatur oder die unterste Grenze des Siedens diejenige sey, bei welcher die flüchtigste Substanz siedet, wie dieses namentlich bei einem Gemisch aus Alkohol und Wasser der Fall ist, dessen Siedehitze von der des absoluten Alkohols bis zu der des reinen Wassers hinaufrückt, so können die durch LIEBIG[1] gemachten Erfahrungen nicht anders, als für Anomalieen gelten. Er fand nämlich, dafs das Oel, welches aus einer Verbindung gleicher Volumina von Chlor und ölbildendem Gase entsteht, für sich bei 82°,4 C. siedet, mit Wasser vereint aber nie eine höhere Temperatur als 75°,6 erreicht, und ebenso siedet Chlorkohlenstoff für sich bei 60°,8, mit Wasser gemischt aber bei 57°,3. Dieses abweichende Verhalten verdient eine nähere Untersuchung, und namentlich müfste erforscht werden, von welcher Beschaffenheit die aus den gebildeten Dämpfen niedergeschlagene Flüssigkeit seyn mag[2].

---

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 277.

2 Es verdient bemerkt zu werden, dafs GAY-LUSSAC a. a. O. dieses Resultat mit dem von ihm aufgestellten Gesetze übereinstimmend findet. Vermuthlich geht er davon aus, dafs die Summe der Spannkräfte des Dampfes von Chlorkohlenstoff und von Wasser, beide bei 57°,3, der Spannung der Luft unter 0,76 Meter Druck gleich seyn und daher das Sieden erfolgen könne; allein dann müfste auch der Siedepunct des gemischten Alkohols unter dem des reinen Alkohols und der der verdünnten Schwefelsäure unter dem des reinen Wassers liegen.

526) Eine in diesem wenig bearbeiteten Felde sehr schätzbare Untersuchung hat Magnus[1] mitgetheilt. Zuerst erwähnt er das eben aufgestellte Gesetz von Gay-Lussac, versteht es aber so, dafs der niedrigste Kochpunct gemischter Flüssigkeiten derjenige seyn soll, welcher durch die Summe der Elasticitäten des Dampfes beider gegeben wird, der höchste aber derjenige, welcher der flüchtigsten unter ihnen zugehört, seine Versuche aber ergaben, wie leicht begreiflich, das Gegentheil. Die befolgte Methode wird nicht im Einzelnen beschrieben; ist es aber der Zweck, durch Versuche dieser Art völlig scharfe Resultate zu erhalten, so wird ein solcher Apparat erfordert, als dessen sich Rudberg (§. 522) bediente, und es würde zugleich zweckmäfsig seyn, denselben auf eine solche Weise abzuändern, dafs das Thermometer abwechselnd dem Dampfe ausgesetzt und in die Flüssigkeit selbst herabgelassen werden könnte. Auf jeden Fall mufs der Dampf, namentlich der von leicht siedenden Flüssigkeiten, zusammengehalten und gegen äufsere Abkühlung geschützt werden, wenn man seine Temperatur genau messen will. Bei Mischungen von Wasser mit flüchtigen Oelen und Schwefelkohlenstoff war die Temperatur des Siedepunctes stets etwas höher, als die Wärme der am leichtesten siedenden Flüssigkeit, und blieb ungeändert, so lange noch ein Theil der letztern vorhanden war. Die Temperatur des Dampfes zeigte sich stets etwas niedriger, als die der siedenden Flüssigkeit und blieb gleichfalls unverändert, so lange die eben angegebene Bedingung noch statt fand. Eine Mischung aus frisch rectificirtem Terpentinspiritus und Wasser siedete unter 0,7496 Met. Luftdruck bei 102° C., der Dampf zeigte aber nur 94°,5; Schwefelkohlenstoff und Wasser siedete unter 0,7522 Meter Luftdruck bei 47° C. und der Dampf zeigte 43°,5. Magnus argumentirt ganz richtig, aber der Ansicht Gay-Lussac's nach seiner Deutung derselben zuwider, dafs das Sieden nicht früher eintreten könne, als bis die Dämpfe des flüchtigsten Antheils die erforderliche Spannung erhalten hätten, um den Luftdruck zu überwinden. Bildet die flüchtigste Substanz die unterste Schicht, so kommt der Druck der Wasserschicht noch hinzu, welcher aufser dem Luftdrucke überwunden werden mufs, und die Temperatur des Siedens war auch bei den genannten Ver-

1 Poggendorff's Ann. XXXVIII. 481.

ichen ungefähr diejenige, welche dieser Summe zugehörte.
ie obere Schicht muſs nothwendig die Temperatur der unteren
halten haben, weil sonst die aus der letzteren aufsteigenden
ampfblasen abgekühlt werden müſsten und nicht aufsteigen
innten, weswegen die Mischung im Ganzen nahe genau die
m Siedepuncte der flüchtigern zugehörige Temperatur annimmt.
eigen die Dampfblasen durch die obere Flüssigkeit, so neh-
en sie von dieser solchen Dampf auf, welcher eine ihrer
emperatur angemessene Spannung hat, und es tritt also das
en (§. 524) angegebene Verhalten gemischter Dämpfe ein,
as sich in den Versuchen von Magnus auch dadurch zeigte,
ſs aus dem aufsteigenden Dampfe Schwefelkohlenstoff und
'asser niedergeschlagen wurde, so lange noch Schwefelkohlen-
off vorhanden war; nach dem Verschwinden des letzteren
rte aber das Sieden auf, die Wärme der Flüssigkeit stieg,
er es ging kein Destillat mehr über. Nach der richtigen,
cht immer anerkannten, Theorie war die Wärme der oberen
hicht stets etwas höher, als die Temperatur des Siedepunctes
r unteren flüchtigeren Schicht, selbst als eine sehr dünne Lage
hwefelkohlenstoff sich unter einer drei Zoll hohen Wasser-
nicht befand. Bildet die leichter siedende Flüssigkeit die
ere Schicht, so siedet sie, als wäre sie unabhängig von der
teren; doch giebt es solche, sich nicht mischende Flüssig-
iten sehr wenige, und die Versuche konnten daher nur mit
ecksilber und Wasser oder Oelen oder mit Wasser und
outchoucine angestellt werden, welche letztere, wie für sich
ein, ihren Kochpunct stets änderte.

Sind die vereinten Flüssigkeiten mit einander mischbar, so
dert sich der Siedepunct stets, und die erzeugten Dämpfe
ben ein anderes Mischungsverhältniſs, als die Flüssigkeiten;
ck kann auch letzteres von der Art seyn, daſs beide einan-
r gleich sind. Magnus glaubt daher, daſs die Mischung
cht als ein neu entstandenes homogenes Ganzes zu betrachten
r, weil sonst die niedergeschlagenen Dämpfe dasselbe wieder-
ben müſsten, sondern daſs beide eine gegenseitige Anziehung
f einander ausüben, in deren Folge die flüchtigere verhindert
rd, schon durch diejenige Wärme zum Sieden gebracht zu
erden, bei welcher sie für sich allein siedet. Daſs eine solche
ehr oder minder starke Anziehung existire und auf die
ampfbildung einen Einfluſs ausübe, läſst sich nach der Ana-

logie mit ähnlichen Erscheinungen und nach bekannten Erfahrungen nicht in Abrede stellen; denn ebenso, wie aufgelöste Salze den Siedepunct des Wassers höher hinaufrücken, ist dieses auch der Fall bei Alkohol durch einen Zusatz von Wasser. Magnus wiederholte auch die früher von Andern angestellten Versuche, gemischte Dämpfe in das Torricelli'sche Vacuum zu bringen. Bei 17°,5 liefs er Schwefeläther durch das Quecksilber in eine Barometerröhre aufsteigen und brachte, nachdem das Maximum der Spannung eingetreten war, etwas Alkohol hinzu, wodurch die Elasticität des Aetherdampfes sich verminderte und durch Vermehrung des Alkohols fast bis zu derjenigen herabging, welche den Dämpfen des letzteren bei der gegebenen Temperatur zugehört. Dieselben Erscheinungen zeigten sich, wenn statt des Alkohols Terpentinspiritus und statt des Aethers Schwefelkohlenstoff oder Caoutchoucine angewandt wurde. Dabei ist aber erforderlich, dafs von beiden Flüssigkeiten, aufser ihren Dämpfen, noch Theile im tropfbar-flüssigen Zustande vorhanden sind.

527) Ueberblicken wir nochmals das Ganze, so sind die sich darbietenden Phänomene allerdings sehr verwickelt, allein es bieten sich dennoch einige Anhaltpuncte dar, die zur Erleichterung der genaueren Kenntnifs der Sache dienen können. Vor allen Dingen dürfen wir das Verhältnifs der Spannungen der vereinten elastischen Flüssigkeiten und der Räume, die sie einnehmen, nicht unberücksichtigt lassen. Bringt man zur Luft unter atmosphärischem Drucke Wasserdampf in einem verschlossenen Raume, so wird ohne Aenderung der Temperatur die Elasticität des Gemenges um ebenso viel steigen, als das Volumen desselben bei unverändertem äufserem Drucke sich vergröfsern würde. Ist diese Vergröfserung des Volumens eingetreten, so nimmt man gewöhnlich an, die Elasticität der Luft sey um so viel vermindert, als die hinzugekommene des Dampfes betrage, so dafs, wenn letztere p', die gesammte Elasticität aber P genannt wird, die Elasticität der Luft $= P - p' = p$ sey, woraus $p + p' = P$ oder der Satz folgt, dafs der gesammte Druck der Summe der beiden Pressungen gleich sey. Dieses Gesetz wird aber sehr durch die Rücksicht auf den Raum bedingt. Denkt man sich nämlich bei unverändertem Rauminhalte den Wasserdampf weggenommen und durch ein kleines Volumen eines festen Körpers ersetzt, so würde die rückbleibende

Luft offenbar dem Drucke der äuſseren atmosphärischen widerstehn, und eben dieses würde beim Wasserdampfe statt finden müssen, wenn man den Raum der Luft durch einen festen Körper zu ersetzen vermöchte; beide müssen daher eine der äuſseren gleiche Spannung haben. Auf dieses Verhalten gründete Dalton das nach ihm benannte Mischungsgesetz expansibler Flüssigkeiten [1], wobei er jedoch übersah, daſs die vereinten elastischen Flüssigkeiten durch gegenseitige Anziehung ihrer Molecüle überall gleichmäſsig gemischt sind. Soll der Dampf dem äuſseren Drucke widerstehn, so muſs er nothwendig die diesem Drucke zugehörige Temperatur haben. Am deutlichsten zeigt sich dieses beim Wasserdampfe, dessen Temperatur bei unverändertem Luftdrucke so constant ist, daſs sie mit absoluter Sicherheit zur Bestimmung des Normalpunctes der Thermometer dienen kann, und es würde dieses sich auf gleiche Weise bei den Dämpfen aller einfachen Flüssigkeiten zeigen, wenn man es der Mühe werth gehalten hätte, gleich genaue Untersuchungen hierüber anzustellen. Da beim Processe des Siedens die Dämpfe frei aufsteigen und dabei den atmosphärischen Druck überwinden sollen, so müssen sie bei ihrem Entstehen nothwendig die dieser Elasticität zugehörige Temperatur haben, letztere muſs aber noch etwas erhöhet werden, weil auſser dem atmosphärischen Luftdrucke noch derjenige überwunden werden muſs, welchen die Flüssigkeitsschicht darbietet. Ist demnach die Siedehitze des Dampfes $= T$, so muſs die der Flüssigkeit $= T + t$ seyn, wie Rudberg [2] genügend auseinandergesetzt hat. Beim Wasser und bei anderen nicht minder flüchtigen Flüssigkeiten ist der Werth von t sehr unbedeutend; denn theils ist das Gewicht der zu hebenden Schicht an sich nur gering, theils folgen die aufsteigenden Dampfblasen einander so schnell, daſs wegen der fortdauernden Bewegungen der Flüssigkeit ihr Druck fast gänzlich verschwindet, weswegen auch die Wärme des Dampfes und die der oberen Flüssigkeitsschichten nicht merklich verschieden sind. Sind Salze im Wasser aufgelöst, so muſs der aufsteigende Dampf, um dem äuſseren Luftdrucke zu widerstehn, die Siedehitze des reinen Wasserdampfes haben, eine schätzbare, durch Rudberg fest begründete Erweiterung

1 S. Art. *Atmosphäre*. Bd. I. S. 488.

2 Poggendorff's Ann. XL. 52.

unserer Kenntnisse über das Verhalten der Dämpfe; die Temperatur der Auflösung muſs $= T + t + t'$ seyn, worin t' zur Ueberwindung der Kraft gehört, womit die Flüssigkeit durch das Salz angezogen wird, und wenn man $T + t + t' = T'$ setzt, so ist die Temperatur des Dampfes $= T' - (t' + t)$ oder (t als verschwindend klein angenommen) $= T' - t'$. Sind zwei Flüssigkeiten vereint, die sich nicht mit einander vermischen, so bin ich der Ansicht, daſs der Dampf derselben diejenige Hitze haben müsse, welche der Dampf der flüchtigsten unter ihnen erfordert, um dem atmosphärischen Drucke zu widerstehn. Nennen wir die Siedehitze der leichter siedenden Flüssigkeit Θ, so ist die Temperatur des Dampfes $= \Theta - (t + t')$, und da in diesem Falle t' verschwindend klein ist, so wird für den Fall, daſs die flüchtigere Substanz sich oben befindet, also für ein gleichfalls verschwindendes t, die Hitze des Dampfes $= \Theta$ d. h. bis auf eine Kleinigkeit der siedenden Flüssigkeit gleich seyn; für den Fall aber, wenn die leichter siedende Flüssigkeit die untere Schicht bildet, mithin nicht bloſs der Druck, sondern auch der Zusammenhang der oberen Schicht überwunden werden muſs, also t einen gröſsern Werth erhält, ist die Siedehitze der Flüssigkeit $= \Theta + t$, die des Dampfes dagegen $= \Theta$. Sind beide Flüssigkeiten mischbar, so müſste die Temperatur des gemischten Dampfes $= \Theta$ seyn, d. h. diejenige, bei welcher der Dampf der flüchtigsten dem atmosphärischen Drucke zu widerstehn vermag, die der siedenden Flüssigkeit aber $= \Theta + t'$, wenn t als unbedeutend vernachlässigt wird. Dabei wäre dann der zugleich mit bestehende Dampf der minder flüchtigen Flüssigkeit in einem gleichen Zustande befindlich zu betrachten, als der mit atmosphärischer Luft verbundene Wasserdampf, d. h. könnte man den von ihm eingenommenen Raum durch einen indifferenten festen Körper ausfüllen, so würde der Dampf der leichter siedenden Flüssigkeit für sich allein dem atmosphärischen Drucke widerstehen müssen. Hierbei wächst die Gröſse t' mit der verhältniſsmäſsig groſsen vorhandenen Menge der schwerer siedenden Flüssigkeit; denn es ist ein bekanntes Naturgesetz, daſs gröſsere Massen gegen verhältniſsmäſsig kleinere eine stärkere Anziehung ausüben. So verbreitet sich ein einziger Tropfen Oel über eine groſse Wasserfläche, die letzten Antheile Wasser sind nur mit groſser Mühe vom Quecksilber zu trennen u. s. w. Aus dieser Ursache wird erklärlich, warum nach

Tralles (§. 521) ein kleiner Zusatz von Wasser den Siedepunct des Alkohols nur wenig erhöht, bei vorhandner gröſserer Menge steigt derselbe aber allmälig bis zu dem, welcher dem reinen Wasser zukommt. Hiernach kann der Siedepunct vereinter Flüssigkeiten nie tiefer liegen, als der, welcher der flüchtigsten angehört, und die von Liebig beobachteten Erscheinungen sind also ganz eigentliche Anomalieen, deren Erklärungsgrund erst gesucht werden muſs, wenn wir nicht annehmen wollen, daſs eben durch die Einwirkung der Wärme eine neue, leichter siedende Flüssigkeit gebildet wird. Läſst man endlich zu dem im Torricelli'schen Vacuum befindlichen Dampfe, welcher sich noch über seiner Flüssigkeit befindet, eine andere, mit letzterer mischbare Flüssigkeit aufsteigen, so bildet sich ein gemischter Dampf, dessen Elasticität einer Temperatur der Füssigkeit $= \Theta + t'$ zugehört. Hatte der einfache Dampf vorher diejenige Elasticität, welche der Temperatur Θ' zugehörte, so erlangt er jetzt eine der Temperatur $\Theta' - t'$ zugehörige; er muſs daher minder elastisch werden, also der von ihm eingenommene Raum sich vermindern. Die meisten dieser Sätze stimmen mit bekannten Erfahrungen überein, andere aber, namentlich die Temperaturen der Dämpfe gemischter Flüssigkeiten betreffend, verdienen erst durch genaue Versuche näher geprüft zu werden.

528) Es war bereits oben (§. 521) von dem *heftigen Stoſsen* die Rede, welches Salzsolutionen vor und nach dem angefangenen Sieden zeigen und man durch hineingeworfene Stücke Metall zu beseitigen pflegt. Die Sache ist allgemein bekannt, ich selbst habe die Erscheinung oft wahrgenommen, aber nur dann, wenn das Sieden noch nicht begonnen hatte und noch etwas unaufgelöstes Salz vorhanden war; nach eingetretenem heftigen und anhaltenden Sieden fand dasselbe nicht mehr statt, war aber in einem Falle einst so stark, daſs ein auf einer Metallplatte stehendes Medicinglas hoch in die Höhe geschleudert wurde und zerbrach. Gay-Lussac[1] war wohl der Erste, welcher in neuerer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese Detonation der Dämpfe (*Soubresot*) lenkte und eine Erklärung davon gab. Das Phänomen zeigt sich nach seiner Erfahrung dann, wenn die ruhigen Flüssigkeiten ohne aufsteigende

1 Ann. de Chim. et Phys. 1818. Mars.

Dampfblasen über ihren Siedepunct erhitzt werden, und namentlich sind die Stöfse bei der Schwefelsäure so heftig, dafs eine Destillation derselben ohne Gefahr, den Apparat zertrümmert zu sehen, nicht bewerkstelligt werden kann. GAY-LUSSAC fand aber sofort das genügende Mittel auf, diesem Uebel vollständig zu begegnen, denn als er einige Stücke Platindraht hineinwarf, ging die Destillation ruhig von statten. Die Stöfse haben eine auffallende Aehnlichkeit mit den oben (§. 517) erwähnten, von mir beobachteten, die sich an die Erscheinung des sogenannten Simmerns anreihen lassen. MAGNUS[1] nahm bei seinen erwähnten Versuchen ein diesem ähnliches, wo nicht gleiches, Phänomen wahr, und seine Erfahrung kann als ein schätzbarer Beitrag zur Erklärung desselben dienen. Es zeigte sich häufig dann, wenn die leichter siedende Flüssigkeit die unterste Schicht bildete, und war von solcher Heftigkeit, dafs oft der Versuch unterbrochen werden mufste, um das Zertrümmern des Gefäfses zu verhüten. Er brachte darauf die Kugel eines Thermometers dicht unter die oberste Flüssigkeit, und sah dann das Thermometer vor dem Stofse um mehrere, selbst 3° bis 5°, je sogar 10° C. über den Kochpunkt der unteren Flüssigkeit steigen, bis eine starke Dampfblase heftig die obere Schicht durchbrach und das Thermometer wieder auf den Siedepunct der unteren Flüssigkeit herabsank, worauf es sich so lange erhielt, als die Dämpfe ungehindert aufstiegen. Hiernach glaubt er, dafs die Dampfbildung durch den Zusammenhang der oberen Schichten gehindert wird, selbst wenn die Temperatur weit über den Siedepunct hinausgerückt ist, bis der gebildete Dampf den Zusammenhang gewaltsam durchbricht. Befindet sich in der Flüssigkeit ein Platindraht oder nur ein Eisendraht[2], selbst wenn dieser nicht in die obere Schicht hinaufragt, so findet das Stofsen nicht statt, und wenn auch die obere Schicht aus dickem, ohne Draht nicht zum Sieden zu bringenden Terpentinöl besteht. Man mufs sich indefs hüten, den Draht unmittelbar vor dem Sieden in die Flüssigkeit zu werfen, weil diese sonst mit Heftigkeit aus dem Gefäfse geschleudert wird.

Ob die Ursache dieses Phänomens ohne weitere Modifica-

---

1 Poggendorff's Ann. XXXVIII. 491.

2 LEGRAND §. 517 fand Zink und nächstdem Eisen am wirksamsten.

›n blofs in dem Zusammenhange der oberen Flüssigkeit liege, irfte durch die Thatsache zweifelhaft werden, dafs es durch nen blofs von der unteren Schicht umgebenen, in die obere ır nicht hinaufragenden Draht aufgehoben wird, welcher doch ımöglich den Zusammenhang der oberen, ohne sie zu berühn, verringern oder aufheben kann. Noch kommt das Argument hinzu, dafs sich das Stofsen auch bei Salzsolutionen, :i Schwefelsäure und sonstigen Flüssigkeiten zeigt, wo keine wei über einander gelagerte Schichten vorhanden sind. Allerings mufs der Zusammenhang der oberen Schichten unterbroıen werden, mögen diese aus einer gleichartigen Flüssigkeit estehen, wie bei Salzsolutionen, oder aus einer ungleichartigen, ie bei den Versuchen von Magnus, allein das Phänomen ist :was zusammengesetzter. Die Flüssigkeiten sind, wie Magnus ısdrücklich bemerkt, vor dem Stofsen in vollkommner Ruhe, nd es bildet sich plötzlich eine grofse Dampfblase, die den eftigen Stofs erzeugt. Offenbar sind also die Theilchen der lüssigkeit in festem Zusammenhange und dieser hindert die ildung des Dampfes, welcher aber, plötzlich in bedeutender lenge sich losreifsend, den Stofs durch Ueberwindung des Viderstandes der oberen Flüssigkeitsschicht erzeugt. Ist ein letalldraht vorhanden, so nimmt dieser die bestehende Wärme an, nd es bilden sich aus den ihn berührenden Theilen der Flüsgkeit allmälig kleine Dampfblasen, welche aufsteigen und den usammenhang der oberen Schicht mit Leichtigkeit durchbrechen. enau erwogen genügt dieses zwar, um die Trennung des Zuımmenhanges der oberen Schichten durch die kleineren aufeigenden Dampfblasen zu erklären und die Möglichkeit nachıweisen, dafs hierdurch das Stofsen verhütet werde, welches lezeit nur in Folge grofser und plötzlich sich erhebender ampfblasen eintritt, keineswegs ist aber bisher ein befriedigender rund angegeben worden, aus welchem die Heftigkeit des Stofsens berhaupt abzuleiten wäre; denn wenn wir uns auch den Zuımmenhang der oberen Schichten noch so stark vorstellen, so ınn doch das Durchbrechen derselben unmöglich eine solche Virkung erzeugen, als man in der Heftigkeit der Stöfse geahrt. Diese Schwierigkeit dürfte aber wegfallen, wenn man ch an die merkwürdigen, durch Clement[1] zuerst beachteten

1 Vergl. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 679.

Erscheinungen erinnert. So wie hierbei der äufsere Luftdruck selbst Metallplatten mit grofser Heftigkeit gegen die Oeffnung treibt, aus welcher die Luft oder der Dampf fortwährend ausströmt, mufs derselbe auch die Flüssigkeit in den Raum hineinstofsen, aus welchem die grofse Luftblase aufgestiegen ist, und zwar mit noch gröfserer Gewalt, weil der heifse Dampf seine Wärme abgiebt, und daher das Vacuum ungleich stärker wird, als durch die rasche Bewegung der Luft bei jener Erscheinung. Obendrein kommt noch der Umstand hinzu, dafs die Dampfbildung an der Stelle, von wo die Blase aufsteigt, momentan aufhört und die dadurch über den Siedepunct der Flüssigkeit erhitzte Stelle, wie im Leidenfrost'schen Versuche (§. 271), keinen Dampf weiter erzeugt, dagegen den vorhandenen durch höhere Wärme stärker ausdehnt, bis der heftige Stofs die Flüssigkeit mit ihr wieder in Berührung gebracht hat.

529) Dieses Phänomen hängt mit einem andern zusammen, welches hier sofort zur Untersuchung kommen möge. Es ist nämlich eine bekannte Sache, dafs Flüssigkeiten, vorzüglich die flüchtigeren, in einem offenen weiten Gefäfse bei weit niedrigeren Temperaturen sieden, als in engen Glasröhren, am höchsten aber läfst sich die Hitze vor dem Sieden treiben, wenn sie in einer Kugel eingeschlossen sind, an der sich eine enge Thermometerröhre befindet. Dieses eigenthümliche und anscheinend abnorme Verhalten fiel mir vorzüglich auf, als ich bei den Versuchen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten[1] die Hitze des Schwefeläthers, welcher in der halbgefüllten Kugel jederzeit bei 35° C. siedete, bei gänzlicher Anfüllung derselben und des gröfsten Theils des Röhrchens bis 40°, ja sogar einmal bis 50° C. steigerte, worauf dann aber, ohne vorausgegangenes Aufwallen oder eigentlich sogenanntes Sieden, die gesammte Masse in einem fontainenartigen Strahle aus dem Apparate geschleudert wurde. Bei rectificirtem Steinöl zeigte sich die nämliche Erscheinung, denn auch dieser liefs sich bis 100° C. erhitzen, ungeachtet sein Siedepunct bei 85°,5 liegt, und ebenso liefs sich der Schwefelkohlenstoff, dessen Siedepunct bei 46°,6 C. liegt, bis 65° erhitzen[2]. Aehnliche Erscheinungen sind

1 Mém. prés. à l'Acad. de Petersb. T. I. p. 342.

2 Sur la dilatation de l'Alcool absolu cet. ibid.

so oft beiläufig beobachtet worden, daſs ich es für überflüssig halte, mehrere Beispiele anzuführen; zur Erzeugung derselben dienen aber verschiedene vereinte Ursachen. Die wesentlichste unter diesen ist die Adhäsion des dünnen Flüssigkeitscylinders im engen Röhrchen an den Wandungen des Glases, welche bekanntlich stärker ist, als die Adhäsion der Theilchen der Flüssigkeit unter einander; die Masse der Flüssigkeit in diesem engen Cylinder ist verschwindend klein gegen die anziehende Oberfläche. Auſserdem aber befindet sich die Flüssigkeit in völliger Ruhe, ein einzelnes Bläschen kann die Theilchen derselben nicht verdrängen und sich einen Weg zum Aufsteigen bahnen, findet überhaupt keinen Raum, sich zur ursprünglichen Bildung auszudehnen, weswegen auch das Sieden mit einem Heraustreiben der gesammten Flüssigkeit beginnt. Es kommt indeſs noch diejenige Ursache hinzu, woraus so eben das Stoſsen der Salzlösungen und gemischten Flüssigkeiten erklärt wurde, nämlich die Adhäsion der Dampftheilchen an die Theilchen der Flüssigkeit selbst, welche bewirkt, daſs die Wärme bedeutend gesteigert werden muſs, um dieses Hinderniſs zu überwinden. In dieser Hinsicht ist dieses Verhalten dem hinlänglich bekannten analog, wonach das Wasser viele Grade unter seinen Gefrierpunct erkalten kann, ohne daſs die ersten Eiskrystalle erzeugt werden. Sehr nahe liegt endlich der Druck der Flüssigkeitssäule, welche sich im Röhrchen befindet; allein da die Höhe derselben nur etwa 6 bis 10 Zoll betrug, namentlich der Schwefeläther aber nur ein geringes specifisches Gewicht hat, so dürfte die allerdings statt findende Mitwirkung dieser Ursache nicht hoch anzuschlagen seyn.

530) Die wesentlichste Bedingung der Temperatur des Siedepunctes aller Flüssigkeiten ist der jederzeitige Luftdruck oder der Druck, welchen jeder auf die Oberfläche der erwärmten Flüssigkeit drückende Körper ausübt, weswegen man bei der Angabe der Temperatur des Siedens jederzeit diesen statt findenden Druck und, da derselbe in der Regel durch die atmosphärische Luft ausgeübt, dieser aber durch das Barometer gemessen wird, den gleichzeitigen Barometerstand anzugeben pflegt. Da die Siedehitze des reinen Wassers den einen Normalpunct der Thermometerscalen abgiebt, so ist die Hauptsache dieser Aufgabe, namentlich wie man für Wasser einen constanten Siedepunct erhält und wie derselbe nach den verschiedenen Barometerhöhen

variirt, bereits mitgetheilt worden[1], und da man indirect aus der Temperatur des siedenden Wassers auf den zugehörigen Barometerstand zu schliefsen vermag, mithin das Thermometer statt des Barometers zu Höhenmessungen anzuwenden vorgeschlagen hat, so mufste die Sache auch in dieser Beziehung erörtert werden[2]; hier kann also nur von der Aufgabe im Allgemeinen die Rede seyn. Es bedarf dabei zugleich keiner Erörterung des Zusammenhanges, in welchem der Druck auf die Flüssigkeit mit der Temperatur ihres Siedens steht, denn dieser geht aus dem bereits angegebenen Wesen des letzteren von selbst hervor.

Der Erste, welcher wahrnahm, dafs Wasser und Weingeist in luftleeren Gefäfsen bei weit geringerer Hitze sieden, als in lufterfüllten, war wohl Papinus[3], dessen Untersuchungen über die Dämpfe diesen zugleich viel mit der Luftpumpe experimentirenden Physiker nothwendig zu Wahrnehmungen dieser Art führen mufsten. Derselbe verfertigte auch die ersten Wasserhämmer, aus einer blofsen luftleeren, mit etwas Wasser gefüllten Glasröhre bestehend, in welcher dann diese Flüssigkeit eine geraume Zeit über einer Lichtflamme siedete, ohne dafs ihre Wärme einen bedeutenden Grad erreichte. Hierdurch aufmerksam gemacht wiederholte Huyghens[4] die Versuche und fand die Sache bestätigt. Franklin[5] aber erfand die nach ihm benannte *Franklin'sche Röhre*, eine Glasröhre mit einer mäfsig grofsen Kugel an jedem Ende, worin sich eine Mischung aus Wasser und Alkohol befand, die in der einen Kugel lebhaft siedete, wenn man die andre durch die Hand erwärmte. An diese Untersuchungen, die theilweise zur Ergötzung dienten, schlossen sich diejenigen anderer Gelehrten an, welche den Zusammenhang der Siedehitze mit dem tieferen Barometerstande auf hohen Bergen aufzufinden sich bemühten. Als Amontons[6] sich bestrebte, einen festen Punct der Thermometerscalen aufzufinden, gelangte er zu dem Resultate, dafs die Temperatur des siedenden Wassers unter allen Bedingungen eine constante

---

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 890.
2 S. ebendaselbst S. 962.
3 Nouvelles expériences du vuide. Par. 1674. 4.
4 Philos. Trans. N. 122. p. 544.
5 De Saussure Essay's sur l'Hygrométrie. Ess. III. chap. I. §. 186.
6 Mém. de l'Acad. de Paris. 1703.

sey, FAHRENHEIT[1], welcher anhaltender und mit gröfserer Sorgfalt experimentirte, gewahrte schon 1724 den Einflufs, welchen der ungleiche Barometerstand auf die Temperatur des siedenden Wassers ausübte, und wenn es auffallend scheint, dafs dieses nicht nach dem, was PAPIN und HUYGHENS bereits aufgefunden hatten, als nothwendig folgend betrachtet wurde, so darf nicht übersehn werden, dafs man zwar die Gesetze des Luftdruckes damals bereits kannte, allein die Vorstellungen von demselben noch nicht zur gehörigen Klarheit gelangt waren und daher immer noch dem leeren Raume ein eigenthümlicher Einflufs auf die darin siedende Flüssigkeit beigelegt wurde. Ganz eigentlich wissenschaftlich waren dagegen die Versuche der Gelehrten, welche die Erniedrigung des Siedepunctes des Wassers auf hohen Bergen mafsen und richtig als Folge des tieferen Barometerstandes betrachteten. LE MONNIER und CASSINI[2] brachten ein Quecksilberthermometer, dessen Siedepunct zu Perpignan bei 28 Z. 2 Lin. Barometerhöhe bestimmt worden war, auf den Gipfel des Canigou in den Pyrenäen, wo der Barometerstand nur 20 Z. 2,5 Lin. betrug, und fanden daselbst die Temperatur des siedenden Wassers um 9° R. tiefer. Auf gleiche Weise fand SECONDAT DE MONTESQUIEU[3] die Siedehitze des Wassers auf dem Pic du Midi, verglichen mit der zu Bagnères, um 18° F. und die des Weingeistes um 13° F. niedriger. Eine grofse Menge von Versuchen stellte auch SHUCKBURGH[4] bei seinen Reisen in den Alpen und auf den Bergen Grofsbritanniens an; am ausführlichsten aber wurde das Problem durch DE LUC untersucht, dessen Bemühungen, das Verhältnifs zwischen den Veränderungen der Quecksilberhöhe im Barometer und den diesen zugehörigen der Siedepuncte aufzufinden, bereits erwähnt worden sind[5].

Die Sache selbst läfst sich durch einen einfachen Versuch

---

1 Philos. Trans. N. 385. S. 179. Nach MURRAY in Philos. Mag. and Journ. T. LXVII. p. 201 soll FAHRENHEIT zuerst geäufsert haben, man könne das Thermometer zum Höhenmessen gebrauchen. MURRAY hält aber nach eigenen Erfahrungen und denen des Cap. HALL in der Schweiz die Methode für nicht geeignet, genaue Resultate zu geben.

2 Mém. de l'Acad. de Paris. 1740. p. 131.

3 Philos. Trans. N. 472.

4 Philos. Trans. T. LXIX. p. 362.

5 Vergl. LICHTENBERG in: Magazin für das Neueste a. d. Physik. Bd. II. St. I. S. 219.

leicht anschaulich machen. Zu diesem Ende stellt man ein Glas mit Wasser von etwa 50° C. Wärme unter eine Campane auf den Teller der Luftpumpe und exantlirt. Sobald ein Vacuum erzeugt wird, steigen zunehmend kleine Bläschen im Wasser auf, über der Wasserfläche erhebt sich Wasserdunst, genau so wie man es beim gewöhnlichen Erhitzen des Wassers wahrnimmt, und wenn die Luft hinlänglich verdünnt ist, so tritt ein vollständiges, dem gewöhnlichen vollkommen ähnliches, Sieden ein. Weil aber die Temperatur des Wassers durch die aufsteigenden Dämpfe herabgeht, den Verlust durch Strahlung nicht gerechnet, und der Dampf selbst mit der ihm eigenthümlich zugehörenden Elasticität auf das Wasser drückt, so hört das Sieden bald auf, das Exantliren muſs wieder begonnen und der Rest der noch vorhandenen Luft nebst den erzeugten Dämpfen weggenommen werden, damit das Sieden wieder beginnt. Je stärker die Luftpumpe exantlirt, bis zu desto niedrigern Temperaturen kann dieser Versuch fortgesetzt werden, wenn man auf das nachtheilige Eindringen des Wasserdampfes in die Röhren und Ventile der Luftpumpe keine Rücksicht nimmt. Uebrigens geht aus der geringen Temperatur des unter diesen Umständen wirklich siedenden Wassers anschaulich hervor, daſs auf hohen Bergspizen, z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard, der Meierei von Antisana u. s. w., die Hitze des in offenen Gefäſsen siedenden Wassers nicht genügt, um die thierische Muskelfaser genugsam zu erweichen, und daſs die dortigen Bewohner daher sich zur Bereitung nahrhafter Speisen des Papin'schen Digestors bedienen müssen. Ein sehr interessanter, die Sache ausnehmend erläuternder Apparat ist der *Wasserhammer* (*Marteau d'eau*)[1]. Dieser besteht meistens bloſs aus einer 0,5 bis 1 Zoll weiten, 6 bis 8 Zoll langen Glasröhre, welche am einen Ende gewölbt zugeblasen, am andern mittelst eines kurzen, sehr engen Röhrchens mit einer Kugel von 1 bis 2 Zoll Durchmesser verbunden ist. In dieser Gestalt dient er zunächst dazu, um durch das heftige Schlagen des Wassers gegen den Boden der Röhre zu zeigen, daſs das Wasser an sich als hart erscheint und zugleich an dem Herabflieſsen aus der Kugel in die Röhre und umgekehrt, welches in lufterfüllten Röhren nicht statt findet, nur durch den Widerstand der

1 Vergl. Sigaud de la Fond Dict. de Phys. Art. *Marteau d'eau.*

Luft gehindert wird. Der Wasserhammer ist nämlich luftleer und etwa zu 0,3 oder nur 0,25 mit Wasser gefüllt. Soll der Apparat das Sieden des Wassers durch die Wärme der Hand und zugleich die Erzeugung, so wie das Verschlucktwerden der Dampfblasen anschaulich zeigen, so muſs er mit gröſserer Vorsicht verfertigt werden. Am besten dient hierzu eine wenigstens 1 Z. weite, 12 Z. lange und mit einer 2 Z. weiten Kugel unmittelbar verbundene Röhre. Die Kugel wird oben in eine Fig. 75. feine Spitze ausgezogen, durch diese der Apparat mit reinem Wasser bis etwa zur Hälfte gefüllt und dieses mehrere Stunden in heftigem Sieden erhalten, um auch die letzten Antheile Luft zu entfernen. Mitten im Sieden, nachdem etwa die Hälfte des Wassers verdampft ist, verschlieſst man schnell die Spitze mit Siegellack, entfernt das Feuer, um ein Zerplatzen zu verhüten, läſst den Apparat erkalten und schmelzt die Spitze mit der Blaslampe ab. Läſst man später den gröſsten Theil des Wassers in die Kugel flieſsen, so daſs der Zugang derselben in die Röhre eben verschlossen ist, und erwärmt man das andere Ende der Röhre mit der Hand, so sieht man fortwährend Dampfblasen aus der Röhre in die Kugel dringen, wo sie augenblicklich, und zwar mit hörbarem Geräusch, wieder niedergeschlagen werden; das Geräusch, den Stöſsen der zu sieden beginnenden Flüssigkeiten ähnlich, vernimmt man deutlicher und verstärkt, wenn man die Kugel auf eine Tischplatte, ein Bret, eine Glasplatte u. s. w. legt[1].

531) Eine artige Spielerei gewähren kleinere Apparate von Fig. 76. ungefähr ähnlicher Form, deren Röhren nur etwa 5 bis 6 Z. lang, 0,75 Z. weit, mit einer durch zwei Thermometerröhrchen gesonderten Kugel und oben mit einem länglichen Gefäſse versehn sind. Sie werden mit gewöhnlichem Weingeist gefüllt und mit geringerer Mühe luftleer gemacht. Bringt man die Flüssigkeit gröſstentheils, ohne genaue Beachtung des quantitativen Verhältnisses, in den einen, durch eins der engen Röhrchen abgesonderten Theil des Apparates und hält diesen nach oben, während der untere durch die Hand erwärmt wird, so

1 Die angegebene Construction ist die einfachste; man versieht aber die Apparate zuweilen mit Zierrathen und verfertigt sie von gröſseren, bis zum Doppelten der angegebenen Dimensionen und darüber. Einen anderthalb Fuſs langen und proportional groſsen von Watkins sah ich im Cabinette der London University.

siedet die Flüssigkeit heftig entweder im obern Theile des Apparates allein oder auch zugleich in der Kugel; das Stoſsen wird aber dabei nicht gehört, weil der Weingeist hierfür nicht hart genug, vielmehr zu flüssig ist. Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Modification der bereits genannten *Franklin'schen Röhre*, welche auch Pulshammer (*Pulse-glas, Palmglas*) genannt wird[1]; seine Gestalt ist genau wie die des Kryophorus, nur ist in ihm Weingeist statt des Wassers enthalten und die Dimensionen sind meistens kleiner, die Röhre 5 bis 6 Zoll lang, die Kugeln etwa 1,5 Zoll im Durchmesser haltend. Ist derselbe hinlänglich luftleer, hält man ihn horizontal, die Kugeln nach oben gerichtet, befindet sich von dem enthaltenen Weingeist, welcher in seiner Gesammtheit jedoch die eine der Kugeln nicht ganz ausfüllen darf, in jeder der Kugeln die Hälfte, und nimmt man die eine der Kugeln, sie ganz umschlieſsend, in die Hand, so steigt die gesammte Flüssigkeit sofort in die freie Kugel und beginnt dann heftig zu sieden. Hierbei zeigt sich jederzeit ein Phänomen, welches ich nirgends besonders hervorgehoben oder nur überhaupt erwähnt finde, und doch scheint es mir von vorzüglicher Wichtigkeit zu seyn. Wenn man die Kugel umfaſst, so fühlt man anfangs keine Kälte, vielmehr tritt eine scheinbare Steigerung der Wärme ein, weil die Kugel ein schlechter Leiter ist; in dem Augenblicke aber, wo die Flüssigkeit in der andern Kugel heftig aufwallet, selbst auch wenn vorher ein fontainenartiges Aufsprudeln derselben statt fand, empfindet man eine auffallende Kälte, die nur wenige Augenblicke anhält. Es scheint mir, als gäbe es nur drei mögliche Ursachen dieser momentanen Wärmeverschluckung. Nach der einen müſste angenommen werden, daſs die erwärmte Flüssigkeit eine höhere Wärme annähme, als welche ihrem Siedepuncte zugehörte, diese aber in dem Augenblicke auf gleiche Weise verlöre, als dieses vor und während des sogenannten Stoſsens (§. 528) nach den Erfahrungen von Magnus statt findet. Dieser Ansicht steht aber entgegen, zuerst daſs kein Mangel an Dampfbildung statt findet, vielmehr treibt der gebildete Dampf die Flüssigkeit mit Gewalt in die andere Kugel. Nach einer zweiten Erklärung lieſse sich annehmen, daſs der erzeugte, in die zweite Kugel

Fig. 77.

1 Vergl. Robison System of mechanical Philosophy cet. Edinb. 1822. T. II. p. 14.

frei eindringende und das heftige Sieden bewirkende Dampf eine gröfsere Menge Wärme absorbire, allein auch hiergegen läfst sich einwenden, dafs dann die bemerkte Kälte ebenso wie die Dampfbildung fortdauern müfste, statt dafs sie nur momentan oder sehr kurze Zeit dauernd ist, während das Sieden fortwährend, wenn auch mit etwas verminderter Heftigkeit, statt findet. Man kann daher nicht wohl umhin, zu einer dritten Erklärung überzugehn. Hiernach wird zwar vom ersten Augenblicke an Dampf entwickelt und seine stärkere Spannung dazu verwandt, die Flüssigkeit durch die enge Röhre zu treiben; in dem Augenblicke aber, wo er frei entweichen kann, dehnt er sich aus und erzeugt die Empfindung der Kälte durch Absorption der zu dieser seiner Expansion erforderlichen Wärme. Dieses ist wohl ohne Zweifel die richtige Ansicht; sofern aber hierbei ein Wechsel der in gröfserer oder geringerer Menge zuströmenden Wärme statt findet, hat das Phänomen in gewisser Beziehung Aehnlichkeit mit dem in §. 518 beschriebenen[1].

532) Wegen des bedeutenden Einflusses des Luftdruckes auf die Temperatur des Siedepunctes der verschiedenen Flüssigkeiten ist man übereingekommen, hierfür denjenigen Barometerstand anzunehmen, bei welchem der Siedepunct der Thermometer bestimmt wird[2], und da dieser zur Zeit der Versuche nicht immer statt findet, so giebt man zugleich mit den erhaltenen Resultaten den gleichzeitig beobachteten Barometerstand an, um hiernach annähernd zu schätzen, wie weit etwa die gegebene Bestimmung von der absolut genauen sich entfernen möge. Um die Abweichung scharf zu berechnen, mufs das Gesetz der Elasticität der Flüssigkeiten als Function der Wärme genau bekannt sein, was wir jedoch nur bei den wenigsten hinlänglich kennen. Ist der Unterschied des beim Versuche statt findenden Barometerstandes und des normalen nur ge-

---

1 Es hat mir wiederholt geschienen, als ob die Erzeugung der zum Sieden des Weingeists erforderlichen Wärme bei verschiedenen Personen ungleich sey und sich hiervon auf die Energie des bei ihnen statt findenden Lebensprocesses schliefsen lasse. Der Apparat verdiente wohl, in dieser Hinsicht von den Physiologen beachtet zu werden. Absichtlich angestellte, ausgedehntere Versuche würden hierüber nähere Auskunft geben.

2 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 890.

ring, so wird man sich von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man das *Dalton'sche Gesetz* (§. 523) in Anwendung bringt, wonach für gleiche Temperaturen unter oder über dem Siedepuncte den Dämpfen der verschiedenen Flüssigkeiten gleiche Unterschiede der Temperaturen zugehören. Uebrigens genügt es im Allgemeinen, den Siedepunct der verschiedenen Flüssigkeiten mit gehörig genäherter Genauigkeit zu bestimmen, und für mehr sind auch die in der unten angehängten Tabelle angegebenen Bestimmungen nicht zu halten; bloſs beim Wasser war möglichste Schärfe unerläſslich, weil wir sonst im Thermometer selbst kein genaues Meſswerkzeug besäſsen.

Wirken stark vermehrter Druck und hohe Kälte gleichzeitig auf Dämpfe oder die ihnen ähnlichen Gase, so werden diese tropfbar-flüssig, und wir könnten daher die Temperaturen, wobei dieses statt findet, als ihre Siedepuncte ansehn, würden uns aber dadurch von der aufgestellten Regel entfernen, wonach wir die Siedepuncte der Flüssigkeiten der Vergleichung wegen auf den gemeinschaftlichen mittleren Barometerstand reduciren. Die Untersuchung des erforderlichen Druckes, unter welchem einige Gase, die in dieser Beziehung als Dämpfe zu betrachten sind, tropfbar-flüssig werden, muſs daher hier, wo es sich um die Bestimmung der Siedepuncte bei mittlerem Barometerstande handelt, ausgeschlossen werden und ist auſserdem bereits angestellt worden[1].

Einige gemischte Flüssigkeiten, als Salzsolutionen, Wasser mit Alkohol u. s. w., erleiden durch Wärme eine Zerlegung, und der Siedepunct rückt folglich stets höher hinauf; soll daher die Temperatur ihres Siedepunctes bestimmt werden, so muſs dieses in dem ersten Augenblicke geschehn, wo die Dampfentwickelung beginnt. Andere Körper, namentlich die fetten Oele, zeigen zwar gleichfalls ein Aufwallen, was man als ein Sieden betrachten könnte, allein nach Placidus Heinrich[2] Carradori[3] und Anderen sind es bloſs die Dämpfe des mit

1 S. Art. *Gas.* Bd. IV. S. 1018.

2 Phosphorescenz der Körper. Th. I. S. 188. G. XII. 102.

3 S. Brugnatelli Giorn. T. III. p. 380. Bellani bestreitet diese früher durch Carradori aufgestellte Behauptung in Brugnatelli Giorn. T. III. p. 26, weil dieser zugestehe, daſs die Oele durch Hitze aufwallen, man auſserdem die Oele bekanntlich destilliren könne; allein

den Oelen verbundenen Wassers, welche dieses Aufwallen erzeugen; die Oele selbst erleiden durch die Hitze eine Zersetzung, werden zunehmend dickflüssiger und ein eigentliches Sieden derselben findet überall nicht statt. Ich selbst gewahrte[1], daſs der Kampfer, wenn er in Glasröhren eingeschlossen im flüssigen Zustande erhitzt wird, stark aufwallet, ohne jedoch Dämpfe von bedeutender Elasticität zu entwickeln, was erst in höherer Temperatur geschieht. Gelegentlich kann hier auch an die Betrachtungen erinnert werden, welche Gay-Lussac[2] über die Verdampfung der verschiedenen Körper anstellt, die bei einigen nur dann erfolgt, wenn die Luft freien Zutritt hat, wonach also manche als nicht flüchtig erscheinen könnten, wenn diese Bedingung bei ihrer Erhitzung fehlt. So läſst sich salzsaures Kali lange selbst in der Rothglühhitze erhalten, ohne daſs es merklich verdampft, wenn es mit einem Deckel genau bedeckt ist, statt daſs es stark verdampft, wenn die Luft freien Zutritt hat. Diesem ähnlich ist, daſs Blei, Wismuth und Antimon in offenen Gefäſsen stark verdampfen, in verschlossenen dagegen nicht. Es steht dieses mit der schon durch Fontana gemachten Bemerkung in Verbindung, daſs auch das Wasser unter dem Siedepuncte nur wenig verdampft, wenn das Gefäſs, worin es sich befindet, durch eine enge Röhre ohne Luftzug mit der äuſseren Atmosphäre in Verbindung steht. Bei gemischten Flüssigkeiten, von denen die eine bei niedrigern Temperaturen siedet als die andere, mit ihr verbundene, vertreten nach seiner Ansicht die Dämpfe der ersteren die Stelle der Luft und führen stets die Dämpfe der letzteren mit sich fort, weswegen es unmöglich ist, durch dieses Mittel beide von einander zu trennen. Endlich muſs auch die unter dem Namen des *Leidenfrost'schen Versuches*[3] oben (§. 271) bereits erörterte Erscheinung in Beziehung auf das Sieden erwähnt

---

Brugnatelli Arbadori zeigt, daſs die beim Aufwallen des Oeles aufsteigenden elastischen Flüssigkeiten keine reinen Oeldämpfe sind, sondern verunreinigte Wasserdämpfe und Gase, die durch Abkühlung nicht wieder zu Oel werden, weswegen man kein eigentliches Sieden der Oele annehmen könne.

1 Physikalische Abhandl. Gieſsen 1816. S. 438.

2 Aus Mém. de la Soc. d'Arcueil in G. XXVII. 147.

3 Leidenfrost's Versuche findet man auch in dessen Opusc. phys. med. Lemg. 1797. T. III. p. 85.

werden, sofern dabei kein Sieden statt findet, ungeachtet alle dazu erforderlichen Bedingungen gegeben sind. Einige Gelehrte waren geneigt, auch hierin kein Sieden, sondern eine Zerlegung des Wassers in seine Bestandtheile anzunehmen, als namentlich Lichtenberg[1] und J. T. Mayer[2] und Andere, Bosc d'Antic[3] hielt die Wassertropfen für hohle Kugeln, weil die Glasbläser in die aufzublasenden Glasmassen Wasser mit dem Munde bringen, wodurch sie sich zu einer hohlen Kugel ausdehnen, in welcher einzelne Wasserkugeln umherrollen, Crignon[4] nahm zu einer ganz unzulässigen Hypothese, nämlich einer Bindung des Feuers durch das Metall, seine Zuflucht, Deslandes[5] war aber vermuthlich mit den Beobachtungen Leidenfrost's nicht bekannt, als er auf ein ähnliches Phänomen aufmerksam machte. Ward nämlich ein Löffel voll Wassers auf die glühende Glasmasse in einem grofsen Tiegel gegossen, so formirte sich dasselbe ohne Explosion zu einer Kugel, welche nach mehreren Minuten verdampft war. Die Ursache hiervon glaubte er in der starken Verdünnung der Luft über dem Glase suchen zu müssen, welche eine Explosion unmöglich mache, und Monnet fand dieses dadurch bestätigt, dafs kleine Quantitäten Wasser, auf eine 80 Mark betragende geschmolzene Silbermasse gebracht, in Form kleiner Kugeln darauf umherrollten, eine gröfsere Menge aber in Folge der stärkeren Abkühlung eine Explosion erzeugte. Es genügt jedoch hier, auf die oben mitgetheilten Thatsachen und die auf richtigen Principien beruhende Erklärung zu verweisen, doch mufs ich nachträglich dasjenige hinzufügen, was Buff[6] in Beziehung auf dieses Phänomen geleistet hat, von mir aber zufällig übersehn worden ist. Im Allgemeinen fand er die Hitze der Wassertropfen wechselnd, nie aber die Siedehitze erreichend; auch machte die Färbung des Wassers mit etwas Indigo keinen Unterschied, wie denn auch matte und rauhe Oberflächen das Gelingen der Versuche nicht hinderten. Dagegen ist nach ihm

---

1 Scherer's allgem. Journ. d. Chem. Th. VII. S. 646.

2 S. Gött. gel. Anz. 1801. S. 838.

3 Journ. de Phys. T. XI. p. 411.

4 Journ. de Phys. T. XII. p. 288.

5 Journ. de Phys. T. XI. p. 30.

6 Poggendorff's Ann. XXV. 591.

gute Leitungsfähigkeit nothwendige Bedingung des Gelingens und daher Silber weit geeigneter, als Platin. Die Erscheinung zeigte sich ebenso gut beim Weingeist, als beim Wasser, auch gelang der Versuch mit liquidem Ammoniak und Salzsäure, weniger mit Schwefelsäure, welche zwar in einem Platingefäſse kugelförmig langsam verdunstete, das Silber aber bald zu benetzen und dann selbst schnell zu verdampfen anfing, worauf sich die Metallfläche angegriffen zeigte. Wichtig ist noch ein von ihm zur Controle der durch Perkins aufgestellten Behauptung gemachter Versuch. Hierzu diente ein am obern Ende verschlossener, bloſs durch das Zündloch mit der äuſsern Luft communicirender Flintenlauf, welcher an seinem schräg nach oben gerichteten Ende glühte. In das untere Ende war durch einen Kork eine vertical nach oben gebogene Glasröhre eingesteckt, durch welche Wasser hineingebracht wurde, dessen Dämpfe ohne merklichen Druck aus dem glühenden Zündloche entwichen, wodurch also die von Perkins behauptete Repulsion widerlegt wird. Als das Rohr umgekehrt wurde und das siedende Wasser in das glühende Ende herabfloſs, drang der Dampf mit Gewalt aus der obern Oeffnung, aus dem unten befindlichen Zündloche aber nur wenig, worin eine Bestätigung der von Perkins aufgestellten Behauptung liegen soll; allein danach durfte gar kein Dampf aus dem Zündloche strömen, da noch obendrein das Zündloch weit enger war, als wohin sich die Repulsion erstrecken soll; auſserdem aber siedete das Wasser, was beim Leidenfrost'schen Versuche nicht statt finden darf, die Erscheinung war also eine ganz andere, als die in Rede stehende, und es verstand sich wohl von selbst, daſs von dem siedenden Wasser, auf welches der obere nicht glühende Theil des Flintenlaufes stärker, als der untere wirkte, mit gröſserer Gewalt aus der oberen Oeffnung dringen muſste, als aus dem Zündloche, in welchem das durch den Druck hineingetriebene Wasser zur Verdampfung kam. Uebrigens kommt die durch Buff gegebene Erklärung der Phänomene der oben mitgetheilten im Ganzen nahe. Die Wärme soll um so mehr in das Wasser übergehn, je vollständiger dieses die Körper benetzt; da aber die Benetzung der Metalle durch das Glühen, welches den Zusammenhang gleichartiger und ungleichartiger Körper vermindert, aufgehoben wird, so kann die Wärme nicht mehr mit derselben Schnelligkeit in das Wasser eindrin-

gen, als sie sich in der Masse des Silbers (der Metalle) fortpflanzt[1].

533) Die nachfolgende Tabelle[2] enthält die Siedepuncte der bekanntesten Flüssigkeiten annähernd bei einem Barometerstande von 0,76 Meter. Verschiedene Flüssigkeiten konnten darin nicht aufgenommen werden, weil sie gar nicht eigentlich sieden, sondern vor dem Eintritt des Siedens sich verdicken und in ihren Bestandtheilen zum Theil entweichen, zum Theil als Kohle zurückbleiben. Dahin gehören die Oele, die thierischen Fette, Wachs, Harz u. s. w., und die Angabe für Leinöl mag daher nur als annähernde Bestimmung gelten. Für andere Flüssigkeiten sind keine ganz scharfe Bestimmungen möglich, weil sie sich mit der Zeit von selbst und auch während des Erhitzens verdicken, in Folge dessen ihr Siedepunct höher hinaufrückt, wie dieses z. B. bei den flüchtigen Oelen, also auch dem Steinöl der Fall ist, dessen angegebener Siedepunct für den Zustand unmittelbar vorausgegangener Rectification gilt. Einige Flüssigkeiten bestehn aus Wasser mit gebundenen gasförmigen Körpern, z. B. Salzsäure und liquides Ammoniak, aus denen dann in Folge der Hitze das Gas entweicht, indem ein scheinbares Sieden erfolgt, welches aber nicht vom aufsteigenden Dampfe, sondern gröſstentheils von freigewordenem Gase herrührt, bis zuletzt, namentlich beim Ammoniak, reines Wasser zurückbleibt, zu dessen Siedepuncte der der Mischung allmälig hinaufrückt. Alle Salzsolutionen sieden bei höheren Temperaturen, als das reine Wasser, doch ist der Unterschied bei geringhaltigen anfangs unmerklich, steigt aber zunehmend bis zum gänzlichen Austrocknen, und ebenso beginnt das Sieden der Mischungen von Weingeist mit Wasser,

1 Mit dem Verhalten des Wassers im Leidenfrost'schen Versuche hängt ohne Zweifel, wie Fechner (Repertorium Th. I. S. 155) sehr richtig bemerkt, eine durch Johnson gemachte, aber unrichtig gedeutete Erfahrung zusammen, wonach am Tage kaum sichtbar rothglühendes Eisen in gleicher Zeit mehr Wasserdampf lieferte, als weiſsglühendes, s. Silliman Amer. Journ. of Sc. T. XIX. p. 292. Eine gleichzeitig von ihm gemachte Bemerkung, daſs Guſseisen mehr Dampf erzeugt, als Schmiedeeisen, bestätigt die Resultate der Versuche, wonach ersteres eine gröſsere Wärmecapacität hat, als letzteres. S. §. 449.

2 Vergl. Poggendorff in dessen Annalen XVII. 530, vermehrt und verbessert XLIX. 424.

je nach dem quantitativen Verhältnifs der Bestandtheile, beim Siedepuncte des absoluten Alkohols und endigt bei dem des reinen Wassers. Endlich bestehn eine Menge Flüssigkeiten, als Milch, Blut u. s. w., aus Wasser und sonstigen sehr verschiedenartigen theils beigemengten, theils aufgelösten Substanzen; ihr Siedepunet liegt daher gleichfalls über dem des reinen Wassers, rückt aber in Folge zunehmender Verdickung stets höher hinauf und läfst sich daher nicht genau angeben.

Flüssigkeiten	Siedepunct	Beobachter
Acetylchlorid	—17°,0 C.	Regnault
Acetylhyperchlorid . . .	115,0 75,0	Regnault
Aether	35,7	Gay-Lussac
Aethylchlorid	11,0	Thénard
Aethylchloridid	64,0	Regnault
Aethylcyanid	82,0	Regnault
Aethyliodid	64,5	Gay-Lussac
Aethyloxyd	73,0	Regnault
Aldehyd	21,8	Liebig
Alkarsin	150,0	Bunsen
Alkohol	78,4	Gay-Lussac
Ameisenäther	53,4	Liebig
Ameisensäurehydrat . .	100,0	Bineau
Amilen	160,0	Cahours
Amyloxydhydrat	132,0	Dumas
Amyliodid	120,0	Cahours
Arsenchlorür	132,0	Dumas
Benzin	86,0	Mitscherlich
Benzoëäther	209,0	Dumas
Benzoësäure	245,0	Mitscherlich
Bernsteinäther	214,0	D'Arcet
Bicarburet	85,5	Faraday
Blausäure	26,5	Gay-Lussac
Brenzschleimäther . .	209,0	Malaguti
Brom	47,0	Mitscherlich Balard
Brom-Phosphor-Wasserstoff	30,0?	Bineau
Caoutchin	171,5	Himly
Ceten	275,0	Dumas und Peligot
Chloräther . . . . . fast	100,0	Gay-Lussac
Chloräthereal	180,0	D'Arcet
Chloral	94,0	Dumas

Flüssigkeiten	Siede-punct	Beobachter
Chlorbenzid	210°,0 C.	Mitscherlich
Chlorkohlenstoff . . .	60,8	Liebig
Chlorkohlensäure-Aether	94,0	Dumas
Chlorphosphor im Minimum	78,0	Dumas
Chlorschwefelsäure . .	77,0	Regnault
Chlorkiesel . . . fast	100,0	Dumas
Chlortitan	135,0	Dumas
Chlorwasserstoffhydrat .	110,0	Bineau
Chlorwasserstoffäther . .	11,0	Thénard
Chlorzinn	120,0	Dumas
Chromoxydchlorid . .	118,0	Walter
Citren (Citronyl) . . .	165,0	Cahours
Cyanwasserstoff . . .	26,5	Gay-Lussac
Dümasin	120,0	Kane
Elaën	110,0	Fremy
Elaldehyd	94,0	Fehling
Elaylbromid	129,5	Regnault
Elaylchlorid	82,5 64,0	Regnault
Essigätler	74,0	Thénard Dumas
Essiggeist	55,6	Dumas
Essigsäure-Hydrat . .	120,0	Dumas
Essig, gemeiner . . über	100,0	Mollerat
Formomethylal	42,0	Dumas
Formylchlorid	37,5	Regnault
Formylhyperchlorür . .	135,0 102,0	Regnault
Formylhyperchlorid . .	60,8	Dumas
Holzgeist	66,5	Dumas
Hydriodsäure, wässerige	128,0	Dumas
Iod	177,0 175,0	Gay-Lussac Dumas
Iod-Wasserstoffäther .	64,5	Gay-Lussac
Kampher	104,0	Gay-Lussac Dumas
Kieselchlorid . . unter	100,0	Dumas
Kohlenchlorid	120,0	Regnault
Kohlenhyperchlorür . .	182,0	Regnault
Kohlenhyperchlorid . .	78,0	Regnault
Kohlensäureäther . . .	125,0	Ettling
Kohlensülphid	46,6	Gay-Lussac
Doppelt-Kohlenwasserstoff	— 18,0	Faraday
Vierfach-Kohlenwasserstoff	85,5	Faraday

Flüssigkeiten	Siede-punct	Beobachter
Leinöl	316°,0 C.	MURRAY
Menthen	163,0	WALTER
Mercaptan	61,0	LIEBIG
	63,0	REGNAULT
Mesiten	63,0	WEIDMANN u. SCHWEIZER
Mesityloxyd	120,0	KANE
Mesityloxydhydrat . .	56,6	DUMAS
Mesitylen	135,5	CAHOURS
Methylal	42,0	MALAGUTI
Methylenchlorid . . .	30,5	REGNAULT
Methyliodid	45,0	DUMAS
Methyl, benzoësaures .	198,5	DUMAS
essigsaures . .	58,0	DUMAS
salpetersaures .	66,0	DUMAS
schwefelsaures .	188,0	DUMAS
Methyloxydid	100,0	REGNAULT
	110,0	
Methylsülfid	41,0	REGNAULT
Naphtha	85,5	SAUSSURE
Naphthalin	212,0	DUMAS
Nelkensäure	153,0	DUMAS
Nicotin	240,0	REIMANN
Nitrobenzid	213,0	MITSCHERLICH
Oleën	55,0	FREMY
Oenanthäther	227,0	LIEBIG u. PELOUZE
Oxaläther	184,0	DUMAS
Paranaphthalin . . .	300,0	DUMAS
Petrolen	280,0	BOUSSINGAULT
Petroleum, rect. . . .	85,0	
Pfeffermünzstearopten .	213,5	WALTER
Phosphor	250,0	HEINRICH
	288,0	DALTON
	290,0	PELLETIER
	290,0	MITSCHERLICH
Phosphorchlorür . . .	78,0	DUMAS
Quadricarbüret	— 18,0	FARADAY
Quecksilber	340,0	DANIELL
	355,0	IRVINE
	349,0	DALTON
	346,6	CRICHTON [1]
	356,0	HEINRICH [2]

1 Philos. Trans. 1818. p. 376.
2 Schweigger's Journ. I. 214.

Flüssigkeiten	Siede-punct	Beobachter
Quecksilber	350°,0C.	Dulong u. Petit[1]
	356,0	
	360,0	Dumas, Mitscherlich
Retinnaphtha	108,0	Walter
Retinöl	238,0	Walter
Retinyl	150,0	Walter
Salicylhydrür	196,5	Piria
Salpeteräther	21,0	Thénard, Dumas
Salpetersäure, salpetrige	28,0	Dulong, Mitscherlich
Salpetersäure (spec. Gew. 1,42) . . .	121,0	Dalton
Salznaphtha	16,0	Thénard
	12,5	Gehlen
Schwefel	293,0	H. Davy
	316,0	Mitscherlich
Schwefeläther	35,6	Gay-Lussac
	35,0	Muncke
Schwefelblausäure . . .	102,5	Vogel
Schwefelchlorid, schwefels.	145,0	Heinr. Rose
Schwefelchlorür	138,0	Dumas
Schwefelkohlenstoff . .	43,0	Berzelius
	46,6	Gay-Lussac
	46,8	Marx
Schwefelsäure	310,0	Dalton
gemeine . .	288,0	Davy
Nordhäuser.	45,0	Bussy
Schweflige Säure (spec. Gew. 1,45) .	— 10,0	Bussy[2]
Suberon	186,0	Boussingault
Terpentin	293,0	Murray
Terpentinspiritus . . .	156,0	Dumas
frisch destillirt	152,0	Ure
älter . . .	158,0	Ure
Titanchlorür	135,0	Dumas
Urethan	180,0	Dumas
Valerianäther	133,5	Otto
Valeriansäure	132,0	Otto

1 Von diesen genauen Bestimmungen gilt die erste für das Luftthermometer, die zweite für das uncorrigirte Quecksilberthermometer. S. Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 120.

2 Schweigger's Journ. XXXII. 452.

Flüssigkeiten	Siedepunct	Beobachter
Wasser	100°,0 C.	
Weinöl ($C_4 H_8$) . . unter	100,0	MASSON
Weinöl ($C_{10} H_{16}$) . .	285,0	REGNAULT
Xylit	61,5	WEIDMANN u. SCHWEIZER
Xylitnaphtha	110,0	WEIDMANN u. SCHWEIZER
Zinnchlorid	120,0	DUMAS

c) Dampf, dessen Elasticität und Dichtigkeit.

534) Aufser der Verdunstung und dem Sieden kommt in Beziehung auf Dampfbildung noch das Verhalten des Erzeugnisses selbst, des *Dampfes*, oder der Verbindung der Wärme mit den verschiedenen Flüssigkeiten sowohl als auch festen Körpern in Betrachtung. Hierüber ist indefs bereits in einem eigenen Artikel ausführlich gehandelt worden[1], und es versteht sich daher von selbst, dafs hier nur dasjenige nachträglich hinzugefügt werden kann, was seitdem neu hinzugekommen ist, wobei es als angemessen erscheint, die dort befolgte Ordnung hier beizubehalten. Der erste Theil jener Untersuchungen über die latente Wärme der Dämpfe ist seitdem durch keine neuen Thatsachen erweitert worden. Ganz anders verhält es sich dagegen mit dem, was bis dahin zur genauen Ermittelung der Elasticität des Wasserdampfes geschah, welche bestimmt zu kennen wegen der zahlreich davon gemachten technischen Anwendungen von äufserster Wichtigkeit ist. Als literarische Notiz darf diejenige als wichtig gelten, welche KÄMTZ[2] aufgefunden hat. Hiernach kannte schon ALEX. VOLTA[3] das von DALTON aufgefundene Gesetz[4] (§. 523 u. 532), welches mindestens für einige Dämpfe annähernd richtige Resultate giebt; nicht übereinstimmend mit den bisherigen Messungen ist dagegen der gleichfalls von ihm aufgestellte Satz, dafs die Elasticität des Wasserdampfes durch 20° C. verdoppelt werde. KÄMTZ[5] hat seine bereits er-

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 279 ff.

2 Schweigger's Journ. LII. 98.

3 Collez. dell' Opere del Cavaliere Conte ALESS. VOLTA. Firenze 1816. 8. T. III. p. 381. Brugnatelli Giorn. T. II. p. 84.

4 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 354.

5 Untersuchungen über die Expansivkraft d. Dämpfe. Halle 1826. 8. Vergl. Art. *Dampf.* S. 345.

wähnten Untersuchungen über die Spannkraft der Dämpfe in einer eigenen Schrift erweitert dem Publicum vorgelegt, es wird aber genügen, dieses hier bloſs zu erwähnen, da die Aufgabe seitdem durch eine höchst schätzbare neue Versuchsreihe eine bedeutend veränderte Gestalt angenommen und eine wichtige Erweiterung erhalten hat.

Die hier in Rede stehenden Versuche sind diejenigen, welche von den Mitgliedern des Pariser Instituts mit einem sehr bedeutenden Aufwande von Mühe und Kosten höchst sinnreich entworfen und mit beharrlichem Eifer vollendet wurden, wie dieses unverkennbar aus dem durch de Prony, Arago, Girard und Dulong erstatteten, von Letzterem abgefaſsten Berichte hervorgeht[1]. Als Veranlassung hierzu diente eine Aufforderung des Gouvernements, diejenigen Mittel anzugeben, wodurch den aus dem Zerspringen der Dampfkessel entstehenden Unglücksfällen vorgebeugt werde, und da die Wiener Versuche von Arzberger damals in Paris noch nicht bekannt waren, so muſste nothwendig die Spannkraft der Dämpfe bei höheren Temperaturen zuvor erst ausgemittelt werden. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daſs alle Messungen durch aufgestoſsene Ventile bei weitem keine solche Genauigkeit gewähren, als die unmittelbare Beobachtung der durch den Wasserdampf emporgetriebenen Quecksilbersäule, allein zugleich sind auch die groſsen Schwierigkeiten nicht zu verkennen, die der Aufrichtung und Zusammensetzung einer ungefähr 70 Fuſs langen Glasröhre entgegenstehn; es wird aber genügen, von dem mit allen Vorsichtsmaſsregeln construirten, höchst zweckmäſsig eingerichteten, aber auch sehr complicirten Apparate nur eine kurze Beschreibung der wesentlicheren Theile hier aufzunehmen. Als zweckmäſsiges Local diente ein viereckiger alter Thurm im *Collège royal de Henri IV.*, durch dessen früher durchbrochene Gewölbe ein Balken mit ebener Vorderfläche aufgerichtet wurde, an welchem sich die aus einzelnen Stücken zusammengesetzte, durch Schrauben und Kitt gegen das Ausdringen des Quecksilbers gesicherte Glasröhre befestigen lieſs.

1 Mém. de l'Acad. des Sciences T. X. p. 193. T. XI. p. 897. Ann. de Chim. et Phys. T. XXVII. p. 101. T. XLIII. p. 74. Poggendorff's Ann. XVIII. 437. Schweigger's Journ. LIX. 167. Vergl. Fechner's Repert. Th. I. S. 173.

Um den starken Druck dieser ganzen Säule zu vermeiden, war jedes Röhrenstück durch ein angemessenes Gegengewicht balancirt, so dafs das Ganze sich leicht heben und zusammensetzen liefs. Zum Messen der Spannkraft des Dampfes diente zugleich ein Manometer, aus einer dicken Glasröhre bestehend. Um aber die Gültigkeit dieses Boyle'schen oder Mariotte'schen Gesetzes auch bei stärkeren Pressungen zuvor durch abermalige Messungen zu prüfen, da ihnen die früher hierüber angestellten Versuche[1] nicht genügten, so verbanden die Akademiker die Manometerröhre und die zusammengesetzte hohe Glasröhre beide durch ein eisernes Gefäfs voll Quecksilber, prefsten über letzteres Wasser mittelst einer Compressionspumpe, machten dadurch das Metall in beiden Röhren aufsteigen und bestimmten aus dem Unterschiede des Niveaus in beiden die Zusammendrückung der trocknen Luft in der Manometerröhre, wobei sie nicht blofs das Caliber der letzteren corrigirten, sondern auch ihre Temperatur durch einen an ihr herabfliefsenden Strom Wassers unverändert erhielten. Durch drei Versuchsreihen fanden sie das *Boyle'sche Gesetz* von 1 bis 27 Atmosphären Druck vollkommen bestätigt, also für höhere Pressungen, als welche bis jetzt angewandt wurden. Eine Angabe der Mittel zur Vermeidung parallaktischer und sonstiger Fehler kann hier füglich übergangen werden, da die hierzu erforderlichen Apparate und zweckmäfsigen Methoden hinlänglich bekannt sind.

Nachdem auf diese Weise das *Manometer* als ein genügend genaues Mefswerkzeug erkannt worden war, liefsen die Experimentatoren dasselbe sammt dem Quecksilbergefäfse in den Hof des Fig. Gebäudes bringen, weil eine Explosion den Einsturz des Thurms 78. veranlassen konnte, und setzten das Quecksilbergefäfs mit einem Dampfkessel in Verbindung, worin Wasserdampf erzeugt wurde, welcher eine seiner Temperatur angemessene Pressung gegen das Quecksilber ausübte. Die einzelnen Theile des Dampfkessels waren durch zwischengelegte Bleiplatten dampfdicht verschlossen, woraus hervorgeht, dafs dieses Metall, sofern es durch das Anziehn der Schrauben in die feinen Zwischenräume dringt,

1 Es werden hier nur Boyle, Mariotte, Musschenbroek nach Essay de Phys. Leyde 1751. T. II. p. 655, Sulzer, Robison in Encyclop. Brit. Art. *Pneumatics*. T. XVI. p. 700 und Oersted nebst Suenson genannt. Vollständiger findet man die Literatur oben Art. *Gas*. Bd. IV. S. 1035.

für ähnliche Zwecke mit genügendem Erfolge angewandt werden kann. Es schien ihnen nöthig, den Kessel vorher zu probiren, und sie wollten hierzu eine solche Wasserpumpe anwenden, wie man sie bei den hydraulischen Pressen gebraucht, hätten aber dann dem Reglement gemäfs einen Druck von 150 Atmosphären anwenden müssen; allein ehe sie diesen erreichten, liefsen einige Sprünge im Metall und mehreren Vernietungen ebenso viel Wasser durch, als die Pumpe zuführte, weswegen sie diesen Punct nicht erreichen konnten. Bei diesen Probeversuchen überzeugten sie sich von der Ungenauigkeit der konischen Ventile zur Berechnung des Druckes, indem diese wegen der ungleichen Adhäsion der Kegel bei unverändertem Drucke sehr ungleiche Resultate geben. Sie räumen daher den ebenen Ventilen einen entschiedenen Vorzug ein, obgleich sie grofse Sorgfalt erfordern, wenn sie genau schliefsen sollen. Einen solchen Apparat bei dem Kessel anzubringen hätte lange Zeit erfordert und dennoch blieb es ungewifs, bis wie weit die erhöhete Temperatur die Cohäsion des Metalls schwächen würde. Deswegen machten sie einen Probeversuch, wobei das Thermometer, durch ein Fernrohr beobachtet, bis 240° C. stieg, eine Temperatur, die einer Spannung von 60 Atmosphären nahe kommt, so dafs diese Probe für den beabsichtigten Zweck genügte. Der auf diese Weise geprüfte Dampfkessel wurde in einen Ofen eingemauert, dessen dicke Wandungen einen schnellen Wechsel der Wärme hinderten. Durch den Deckel des Kessels ging ein aus Flintenläufen zusammengesetztes Rohr dd' zuerst lothrecht in die Höhe, dann in geringer Neigung d'd'' herabwärts, und senkte sich mit dem andern Ende in das Quecksilbergefäfs f. Dieses Rohr mufste sich bei dem Versuche mit niedergeschlagenem Wasser füllen, und um den Druck desselben, welcher zu dem des Dampfes hinzukam, zu berechnen, wurde das Rohr vor dem Versuche mit Wasser gefüllt und durch einen auf die Leinwand bei V tröpfelnden Wasserstrahl stets abgekühlt. Durch niedergeschlagene Dämpfe konnte daher das in dem eisernen Gefäfse sich beim Sinken des Quecksilbers anhäufende Wasser stets wieder ersetzt werden, und zur Messung des sinkenden Queksilberniveaus diente die stets mit dem Gefäfse correspondirende Quecksilbersäule pk in der gläsernen, eben durch das Bleirohr ox verbundenen Röhre.

Zu den schwierigsten Aufgaben gehörte die Messung der Temperatur, weil der mechanische Druck auf das Thermometer vermieden werden mufste. Deswegen waren in den Kessel durch den Deckel zwei unten verschlossene und so weit verdünnte Flintenläufe eingesenkt, dafs sie gerade dem äufseren Drucke widerstanden. Der eine derselben reichte fast bis auf den Boden hinab, der zweite nicht bis zu einem Viertel der Tiefe; in beide wurde Quecksilber gegossen, und in dieses waren die Thermometer hinabgelassen, deren eins die Wärme des Wassers, das andere die des Dampfes anzeigte; beide schwankten augenblicklich, wenn die Elasticität des Wassers wuchs oder abnahm. Um aber die Correction wegen der ungleichen Temperatur des Quecksilberfadens in der Röhre zu finden, war diese beim Austritt aus dem Kessel rechtwinklig Fig. 79. umgebogen, und das Ende derselben befand sich in einer Glasröhre, durch welche aus einem Gefäfse stets Wasser flofs, dessen wenig veränderliche Temperatur von einem andern kleinen Thermometer angezeigt wurde. Aus dem Stande des grofsen, umgebogenen Thermometers und dem des kleinen, welches die bleibende Wärme der Röhre des ersteren angab, liefs sich die erforderliche Correction leicht finden[1]. Bei der Einrichtung des Ventils b b' war hauptsächlich die Sicherheit berücksichtigt. Die angehängten Gewichte bestanden aus mehreren Stücken und konnten daher dem jedesmal erforderlichen Drucke angepafst werden. War dieser erreicht und wurde dann das Ventil gehoben, so glitt das eine Gewicht gegen die Mitte, das andere an das Ende seines Hebelarmes, und das Ventil schlofs sich nicht wieder.

Beim Anfange jedes Versuches wurde eine der zu erreichenden Temperatur nach Schätzung angemessene Menge Brennmaterial in den Ofen gebracht; das Ventil und die Röhre d d' an ihrem oberen Ende blieben offen, bis durch etwa 20 Minuten langes Sieden des das untere Ende des kürzeren Thermometerbehälters nicht ganz erreichenden Wassers alle Luft aus dem Kessel getrieben war. Nachdem dann das Ventil und das Ende d' der Röhre geschlossen, die Wasserströmungen bei V und um das Manometer geöffnet worden waren, liefs man die Hitze so

1 Die Zeichnung stellt blofs bei dem längeren Thermometer diese Vorrichtung dar, bei dem kürzeren war sie die nämliche.

lange wachsen, bis ihre Zunahme nur noch unmerklich fortschritt, dann wurden die vier Thermometer des Kessels, die Höhe der Quecksilbersäule im Rohre op und der Stand des Manometers beobachtet; bloſs die Gröſsen, welche dem Maximum zugehörten, wurden berechnet, die vorhergehenden und nachfolgenden dienten zunächst zur Controle etwa beim Ablesen begangener Fehler. Nachdem das Monometer und die Thermometer merklich gefallen waren, wurde neues Brennmaterial eingebracht und eine zweite Bestimmung gesucht, auf welche Weise zwar keine nach steigenden Temperaturen zusammenhängende Reihe, aber doch eine hinlängliche Anzahl verschiedener Beobachtungen erhalten wurde. Die anfänglich gehegte Absicht, bis zu 30 Atmosphären zu gelangen, lieſs sich nicht erreichen, weil zu viel Wasser und Dampf aus dem Kessel entwich, und man gelangte daher nur bis zu 24 Atmosphären[1]. Die folgende Tabelle enthält die berechneten Resultate.

Zeit der Beob.	Thermometer		Elasticität	
	kleines	groſses	Quecksilber bei 0° in Met.	Atmosphären von 0,76 Met.
29. Oct.	122°,97	123°,70	1,6295	2,140
25. —	132,58	132,82	2,1767	2,870
28. —	132,64	133,30	2,1816	2,880
28. —	137,70	138,30	2,5386	3,348
29. —	149,54	149,70	3,4759	4,584
28. —	151,87	151,90	3,6868	4,860
25. —	153,64	153,70	3,8810	5,120
2. Nov.	163,00	163,40	4,9383	6,510
30. Oct.	168,40	168,50	5,6054	7,391
28. —	169,57	169,40	5,7737	7,613
23. —	171,88	172,34	6,1510	8,114
28. —	180,71	180,70	7,5001	9,893
25. —	183,70	183,70	8,0325	10,600
28. —	186,80	187,10	8,6995	11,480
22. —	188,30	188,50	8,8400	11,660
25. —	193,70	193,70	9,9989	13,190

1 Nach diesen Erfahrungen müssen die Angaben von Perkins, welcher mit seinen Hochdruckmaschinen viel weiter gekommen seyn will, an Vertrauen verlieren.

Zeit der Beob.	Thermometer		Elasticität	
	kleines	grofses	Quecksilber bei 0° in Met.	Atmosphären von 0,76 Met.
28. Oct.	198°,55	198°,50	11,0190	14,530
25. —	202,00	201,75	11,8620	15,650
24. —	203,40	204,17	12,2903	16,210
25. —	206,17	206,10	12,9872	17,130
2. Nov.	206,40	206,80	13,0610	17,230
24. Oct.	207,09	207,40	13,1276	17,300
28. —	208,45	208,90	13,6843	18,050
25. —	209,10	209,13	13,7690	18,160
25. —	210,47	210,50	14,0634	18,550
28. —	215,07	215,30	15,4995	20,440
28. —	217,23	217,50	16,1528	21,310
28. —	218,30	218,40	16,3813	21,600
30. —	220,40	220,80	17,1826	22,660
30. —	223,88	224,15	18,1894	23,994

Die Abweichung der beiden Thermometer beträgt im Maximum 0°,7 und wird geringer, je höher die Temperatur steigt, weil der dann gebildete dichtere Dampf leichter Wärme an die kürzere eiserne Röhre, worin sich das kürzere Thermometer befand, abgab, und dieses weniger durch die Ausstrahlung des Deckels verlor. Nach Erwägung aller Umstände erscheinen die Angaben des längeren Thermometers als die zuverlässigsten. Die erhaltenen Werthe, als Ordinaten genommen, bildeten eine regelmäfsige Curve, in welche alle Endpuncte genau fielen, wonach also die Beobachtungen für zuverlässig gelten können. Uebrigens stimmten sie blofs mit den durch Southern und Taylor bis zu einem Drucke von 8 Atmosphären gefundenen überein, Arzberger aber legte einer Temperatur von 222° C. einen Druck von 20 Atmosphären bei, die einem solchen von 23 Atmosphären zugehört, und überhaupt scheint derselbe wegen der Einrichtung des zum Messen dienenden Ventils die Temperaturen stets zu hoch gefunden zu haben, weil das Thermometer dem unmittelbaren Drucke des heifsen Wassers ausgesetzt war[1].

535) Der wesentlichste Theil der Aufgabe ist, die Relation zwischen den Temperaturen und den zugehörigen Elasti-

1 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 335 u. 339.

citäten des Dampfes durch eine Gleichung auszudrücken. Die früheren Versuche zur Lösung dieses Problems sind im Art. *Dampf* angegeben[1], und von denjenigen Formeln, welche dort mitgetheilt wurden, werden einige auch hier, aber als unzulässig, genannt. Diese sind die von Prony, wonach für die Spannkraft = z und die Temperatur = x in Centesimalgraden

$$z = \mu_{,} \varrho_{,}^{x} + \mu_{,,} \varrho_{,,}^{x} + \mu_{,,,} \varrho_{,,,}^{x} \dots$$

seyn soll. Die Länge des Calcüls zur Bestimmung der Constanten und auch nach der Auffindung derselben macht diese verwerflich. Ebenso wenig scheint den Berichterstattern die von Laplace vorgeschlagene, auch wie sie durch Biot abgeändert worden ist, zweckmäfsig, und noch weniger die von Ure, die nicht einmal als ein allgemeiner Ausdruck gelten kann, sondern nur einige Verhältnisse zwischen den Temperaturen und den Spannkräften angiebt.

Von den späteren Versuchen, eine allgemeine Gleichung für die den Temperaturen zugehörigen Spannkräfte des Wasserdampfes aufzufinden, mögen hier zuerst diejenigen folgen, welche die gelehrten Berichterstatter in ihrer schätzbaren Abhandlung gleichfalls anführen. Es wird dieses dazu dienen, den Weg näher zu bezeichnen, auf welchem diese zu ihren endlichen Resultaten gelangten; eine nähere Prüfung auch dieser Leistungen wird demnächst folgen. Zuerst finden sie die von Laplace gewählte Methode, die Elasticität der Dämpfe durch eine Reihe mit zunehmenden Exponenten der Temperaturen auszudrücken, nicht zweckmäfsig und daher auch die durch Ivory[2] hiernach aufgestellte Formel verwerflich. Den Argumentationen von Roche[3] stimmen sie zwar nicht bei, jedoch drückt die von ihm aufgestellte Formel die von ihnen beobachteten Gröfsen sehr genau aus. Für Temperaturgrade x

---

1 Eine ausführliche gelehrte Untersuchung von Dirksen über die Elasticität des Dampfes, worin aber zunächst nur das Wesen der Dampf- und Gasform als die Wirkung anziehender und abstofsender Kräfte, nach der bekannten Ansicht von Laplace, in Betrachtung kommt, glaube ich hier, wenn auch nur kurz, erwähnen zu müssen. S. Berliner Denkschr. 1830. Math. Th. S. 1.

2 Philos. Mag. and Ann. T. I. p. 1.

3 Ann. de Chim. et Phys. 1830. Janv. Bullet. des Scienc. math. T. XIII. p. 193.

in Centesimalgraden, über 100° positiv, unter 100° negativ, ist die Elasticität im Millimetern:

$$f = 760 \times 10^{\frac{m x}{1 + 0,03 x}},$$

und wenn hierin aus ihren Beobachtungen der mittlere Werth von m = 0,1644 gesetzt, die Formel aber für t invertirt wird, so ist

$$t = \frac{11 (\text{Log.} f - \text{Log.} 760)}{0,1644 - 0,03 (\text{Log.} f - \text{Log.} 760)}.$$

Die von August[1] aufgefundene Formel verwerfen sie deswegen, weil nach ihr eine Spannung von 24 Atmosphären einer Temperatur von 214°,37 C. des Luftthermometers zugehören würde, statt dafs ihre Beobachtungen 220°,33 (224°,2 des Quecksilberthermometers) gaben. Nach Tregaskis[2] sollen die Elasticitäten in einer geometrischen Reihe vom Verhältnifs = 2 wachsen, wenn die Temperaturen gleichfalls in einer geometrischen Reihe vom Verhältnifs = 1,2 zunehmen, allein dieses stimmt mit ihren Messungen nicht überein. Eine wichtige, von mir übersehene, schon damals bekannte Formel wird von den Berichterstattern gleichfalls geprüft[3]. Diese, von den meisten englischen Gelehrten später beibehaltene ist von Thomas Young. Dieser gelehrte Physiker benutzte die Messungen hauptsächlich von Dalton, aufserdem aber auch von Schmidt, Bétancourt, Biker und Andern, und glaubte gefunden zu haben, dafs die allgemeinen Ausdrücke

$$e = 0,1781 (1 + 0,006 f)^7,$$

und

$$e = 0,18 + 0,007 f + 0,00019 f^2,$$

ersterer für hohe, letzterer für niedere Temperaturen, mit den Beobachtungen genügend übereinstimmen, wenn e die Elasticität in englischen Zollen und f Grade der Fahrenheit'schen Scale, von 32° an gezählt, bezeichnen. Die Vergleichung der berechneten und beobachteten Werthe ergiebt, dafs sie das verlangte Gesetz allerdings bis zur Siedehitze des Wassers genau genug angiebt, in den höheren Temperaturen zeigt sie aber

1 Poggendorff's Ann. XIII. 122.
2 Edinburgh Journ. of Science. N. XIX. p. 65. N. XX. p. 282.
3 Lectures on Nat. Philos. T. II. p. 400.

bedeutende Abweichungen von den wenigen ihm damals bekannten Messungen. Die französischen Akademiker konnten bloſs die erste Formel berücksichtigen, weil ihre Beobachtungen den Temperaturen über der Siedehitze zugehören, und diese ist es auch allein, welche die späteren englischen Physiker beachtet haben. CRICHTON[1] änderte in dieser Formel bloſs den Exponenten, indem er ihn $= 6$ nahm, weil dann die Messungen von URE besser damit übereinstimmten, und SOUTHERN[2] wählte statt dessen 5,13. Inzwischen gab TREDGOLD[3] jenem höheren Exponenten den Vorzug, denn seine Formel ist:

$$t = 85 \sqrt[6]{f} - 75,$$

wenn t die Temperaturen in Centesimalgraden von 0° an und

1 Philos. Magaz. T. LIII. p. 266.

2 ROBISON Mech. Philos. T. II. p. 172. Daselbst ist der ganze Brief, welchen SOUTHERN an WATT schrieb, abgedruckt. Seine Formel, ausführlicher bezeichnet, ist für t = der Temperatur in Graden nach F.; e = Elasticität nach der Quecksilberhöhe in englischen Zoll, wenn $T = t + 52$; $E = e - \frac{1}{10}$; $m = 94250000000$ bezeichnet,

$$E = \frac{T^{5,14}}{m} \text{ und } T = \sqrt[5,14]{E\,m},$$

und da die Rechnung sich leichter mit Logarithmen anstellen läſst:

$$\text{Log. } E = 5,14 \text{ Log. } T - 10,97427,$$

$$\text{Log. } T = \frac{\text{Log. } E + 10,97427}{5,14}.$$

Noch bessere Uebereinstimmung erhielt er, wenn $T = t + 51,5$; $m = 87344000000$ und der Exponent $= 5,13$ genommen wird, unter der Voraussetzung, daſs der Siedepunct des Thermometers $= 212°$ F. bei 30 Z. engl. bestimmt wurde. Dann sind die beiden Formeln

$$\text{Log. } E = 5,13 \text{ Log. } T - 10,94123,$$

$$\text{Log. } T = \frac{\text{Log. } E + 10,94123}{5,13}.$$

3 Traité des Machines à vapeur. 1828. 4. Traduit de MELLET. p. 101. Die Formel in ihrer einfachsten Gestalt, für y = der Länge der Quecksilbersäule in Centimetern und x in Centesimalgraden von 0° an gerechnet, ist folgende:

$$y = (a + b\,x)^6.$$

Wird diese für x invertirt, und werden die Constanten a und b aus Beobachtungen bestimmt, so erhält man die im Texte angegebene, worin aber die Constanten durch MELLET etwas abgeändert worden sind. Vergl. LAMÉ Lehrb. d. Physik. Gieſsen 1838. Th. I. S. 432.

f die Elasticitäten in Centimetern der Quecksilbersäule bezeichnet. Coriolis[1] endlich wählte für seine Formel den Exponenten = 5,355. Sie ist für f = der Elasticität in Atmosphären unter dem Drucke einer Quecksilbersäule von 0,76 Meter und für t in Centesimalgraden von 0° an:

$$f = \left(\frac{1 + 0{,}01878\,t}{2{,}878}\right)^{5{,}355},$$

woraus

$$t = \frac{2{,}878\sqrt[5{,}355]{f} - 1}{0{,}01878}.$$

Die Constanten hierin sind aus Dalton's Versuchen über 100° C. und aus denen der französischen Akademiker entnommen, die sie in ihrem provisorischen Berichte bekannt machten. Die Formel weicht sehr wenig von derjenigen ab, welche die französischen Akademiker bei der Berechnung der eben mitgetheilten Tafel anwandten, da sie die äufsersten Beobachtungen völlig genau ausdrückt, und bei den zwischenliegenden nur um etwa 0°,2 bis 0°,3 abweicht. Der gröfseren Bequemlichkeit wegen geben sie indefs der folgenden:

$$f = (1 + 0{,}7153 \,.\, t)^5,$$

also

$$t = \frac{\sqrt[5]{f} - 1}{0{,}7153}$$

den Vorzug, worin f die Elasticität in Atmosphären von 0,76 Met. Quecksilberdruck und t die Temperatur in Centesimalgraden von 100° an gerechnet, oberhalb positiv und unterhalb negativ, bezeichnen, das Intervall von 100° als Einheit genommen. Sehr interessant ist dann folgende Zusammenstellung:

---

1 Du calcul de l'effet des Machines 1829. 4. p. 58.

Beobacht. Elasticität		Temperaturen				
Meter der Quecksilbersäule	Atmosph. zu 0,76 Met.	beobachtet	berechnet	nach TREDGOLD	nach ROCHE	nach CORIOLIS
1,6292	2,1400	123°,7	122°,97	123°,54	123°,58	123°,45
2,1816	2,8705	133,3	132,90	133,54	133,43	133,34
3,4759	4,5735	149,7	149,77	150,39	150,23	150,30
4,9383	6,4977	163,4	163,47	164,06	163,90	164,10
5,6054	7,3755	168,5	168,70	169,07	169,09	169,30
8,8400	11,6320	188,5	188,60	188,44	188,63	189,02
13,0610	17,1850	206,8	207,20	206,15	207,04	207,43
13,1370	17,2850	207,4	207,50	206,30	207,94	207,68
14,0634	18,5040	210,5	210,80	209,55	210,30	211,06
16,3816	21,5550	218,4	218,50	216,29	218,01	218,66
18,1894	23,9340	224,15	224,02	222,09	233,40	224,0

536) Aus dieser Tafel ergiebt sich die nahe Uebereinstimmung der nach allen Formeln berechneten Werthe mit dem beobachteten, am meisten aber ist dieses der Fall für die geringeren Pressungen bei der von TREDGOLD, für die gröfseren dagegen bei der der französischen Akademiker, die aber zugleich für Werthe unter 100° C. für gar nicht anwendbar erklärt wird, weil die Abweichungen mit den Verminderungen der Temperatur fortwährend wachsen. Die Ursache hiervon soll darin liegen, dafs die einzige in dieser, allerdings sehr bequemen Formel eingeführte Constante aus der letzten, also aus der der höchsten Temperatur zugehörigen Beobachtung entnommen worden ist. Aus diesem Grunde aber wird als sehr wahrscheinlich vorausgesetzt, dafs die Formel auch für höhere Temperaturen, mithin so weit, als die technische Anwendung erfordert, hinlängliche Genauigkeit gewährt, und es sind daher in der folgenden Tabelle die Werthe für die ersten 4 Atmosphären nach TREDGOLD's Formel, für die folgenden nach der der französischen Akademiker berechnet zusammengestellt.

Elasticität			
Atmosphären	Quecksilberdruck in Metern	Temperaturen	Druck gegen ein Quadratcentimeter
1,0	0,76	100°,00	1,033 Kilogr.
1,5	1,14	112,20	1,549 —
2,0	1,52	121,40	2,066 —
2,5	1,90	128,80	2,582 —
3,0	2,28	135,10	3,099 —
3,5	2,66	140,60	3,615 —
4,0	3,04	145,40	4,132 —
4,5	3,42	149,06	4,648 —
5,0	3,80	153,08	5,165 —
5,5	4,18	156,80	5,681 —
6,0	4,56	160,20	6,198 —
6,5	4,94	163,48	6,714 —
7,0	5,32	166,50	7,231 —
7,5	5,70	169,37	7,747 —
8	6,08	172,10	8,264 —
9	6,84	177,10	9,297 —
10	7,60	181,60	10,330 —
11	8,36	186,03	11,363 —
12	9,12	190,00	12,396 —
13	9,88	193,70	13,429 —
14	10,64	197,19	14,462 —
15	11,40	200,48	15,495 —
16	12,16	203,60	16,528 —
17	12,92	206,57	17,561 —
18	13,68	209,40	18,594 —
19	14,44	212,10	19,627 —
20	15,20	214,70	20,660 —
21	15,96	217,20	21,693 —
22	16,72	219,60	22,726 —
23	17,48	221,90	23,759 —
24	18,24	224,20	24,792 —
25	19,00	226,30	25,825 —
30	22,80	236,20	30,990 —
35	26,60	244,85	36,155 —
40	30,40	252,55	41,320 —
45	34,20	259,52	46,485 —
50	38,00	265,89	51,650 —

537) Durch Rudberg veranlafst unterwarf Spasky[1] die :obachtungen der französischen Akademiker und die aus ih- n abgeleitete Formel einer scharfen Prüfung, und fand, dafs

1 Poggendorff's Ann. XXX. 331.

von 3,3 Atmosphären an die beobachteten Werthe sämmtlich gröfser sind, als die berechneten, und zwar um Unterschiede, deren Maximum bei 18 Atmosphären 0°,27 beträgt. Die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab einen Fehler des Coefficienten der Formel von — 0,00372853 und des Exponenten von + 0,00132595. Hiernach wird der Coefficient der Dulong'schen Formel statt 0,7153 richtiger = 0,719, der Exponent 5 aber = 4,9987, und die verbesserte Formel heifst also:

$$f = (1 + 0{,}719\,t)^{4{,}9987}$$

und

$$t = \frac{\sqrt[4{,}9987]{f} - 1}{0{,}719},$$

welche allerdings die beobachteten Werthe sehr genau ausdrückt, indem die Differenzen bald positiv, bald negativ sind, die Summe ihrer Quadrate aber nur 0,14858 beträgt, statt dafs sie nach der Dulong'schen Formel = 0,80718 ist.

538) Ehe wir zu demjenigen übergehn, was später über diese Formel oder überhaupt in Beziehung auf einen allgemeinen analytischen Ausdruck der Elasticitäten des Wasserdampfes vorgebracht worden ist, müssen wir zuvor den wesentlichen Inhalt einer sehr gediegenen Arbeit mittheilen, welche sich über das Problem im Allgemeinen und über die verschiedenen Versuche, dasselbe zu lösen, verbreitet, um so mehr, als die so eben mitgetheilte Formel blofs für Temperaturen über der Siedehitze des Wassers anwendbar, und blofs auf die Resultate der Versuche gegründet ist, die wir den höchst schätzbaren Bemühungen der französischen Akademiker verdanken. Egen[1] beschäftigt sich in seiner Abhandlung blofs mit dem mathematischen Theile der Aufgabe, indem er für die bereits bekannt gewordenen Messungen einen allgemeinen analytischen Ausdruck zu finden sucht. Da hierbei zugleich alles dasjenige berücksichtigt worden ist, was der Art. *Dampf* dieses Werkes enthält, so können wir hierüber schnell hinweggehn, und es wird genügen, nur dasjenige aufzunehmen, was zur Erhaltung des Zusammenhanges dieser schätzbaren Uebersicht der wesentlichsten früheren

1 Poggendorff's Ann. XXVII. 9.

ımühungen unentbehrlich ist, wobei wir die Nachweisung der uellen zu ergänzen uns erlauben werden.

EGEN stellt drei Reihen von Messungen zusammen, die m die genauesten zu seyn scheinen, so schwierig es auch ist, ımentlich bei niederen Graden merkliche Fehler in den Anıben der Thermometer und Barometer zu vermeiden. Für rade unter dem Gefrierpuncte wählt er folgende:

Nro.	Temperatur	Expansivkraft		Beobachter
1	— 19°,59 C.	$\frac{1}{561}$	Atmosph.	GAY-LUSSAC[1]
2	— 12,50	$\frac{1}{312}$	—	MUNCKE[2]
3	— 6,62	$\frac{1}{223}$	—	AUGUST[3]
4	— 6,25	$\frac{1}{223}$	—	MUNCKE[2]
5	— 4,44	$\frac{1}{200}$	—	DALTON[4]
6	0,00	$\frac{1}{150}$	—	GAY-LUSSAC[1], DALTON[4], URE[5], AUGUST[3]
(7)	— 4,44	$\frac{1}{111}$	—	URE[5]
(8)	0,00	$\frac{1}{165}$	—	MUNCKE[2]

ür die Temperaturen zwischen den beiden festen Puncten des hermometers scheinen ihm die Messungen von DALTON und RE die angemessensten. Die Elasticitäten sind in englischen ollen folgende:

Temperaturen	Elasticitäten	Temperaturen	Elasticitäten
0°,00 C.	0,200 Zoll	40°,89 C.	3,30 Zoll
4,44	0,266	60,00	5,76
10,00	0,365	76,67	12,04
15,56	0,520	87,78	19,00
21,11	0,720	93,33	23,60
29,44	1,170	98,89	28,88
32,22	1,360	100,00	30,00
37,78	1,860		

ndlich kommen für die höheren Temperaturen die Beobachngen der pariser Akademiker allein in Anwendung, und dies wird wohl fortwährend geschehen müssen, bis neue Ver-

1 Biot Traité T. I. p. 286. Statt der in Art. *Dampf* Bd. II. S. 10. Z. 16 angegebenen — 15°,67 C. ist — 15°,67 R. zu lesen.
2 Physikal. Abhandl. Giefs. 1816. S. 195.
3 Poggendorff's Ann. XIII. 133.
4 Manchester Mem. T. V. S. 550.
5 Philos. Trans. 1818. p. 356. Schweigger's Journ. XXVIII. 329.

suche mit gleicher oder noch gröfserer Genauigkeit angestellt worden sind, was so bald nicht zu erwarten steht. Eine Verbindung derselben mit den früheren könnte der Richtigkeit nur Abbruch thun.

539) Die zunächst folgende Beurtheilung der früheren Formeln stimmt im Ganzen mit dem überein, was in Beziehung auf dieselben bereits gesagt worden ist[1], und wir begnügen uns daher, die Abweichungen und nöthigen Verbesserungen in Anmerkungen hinzuzufügen. Die erwähnten Formeln sind zuerst die beiden von Prony, die von G. G. Schmidt, von Soldner und Laplace mit Rücksicht auf die Modificationen, welche diese durch Biot erhielten. Diesen ähnlich ist die von Ivory[2] in Vorschlag gebrachte Formel, worin die Coefficienten aus den Beobachtungen von Ure bestimmt sind. Hiernach ist für Quecksilberhöhen in englischen Zollen und Thermometergraden nach Fahrenheit die Elasticität ε:

$$\text{Log. } \varepsilon = 30 + 0{,}0087466\,(t-212) - 0{,}000015178\,(t-212)^2 + 0{,}000000024825\,(t-212)^3.$$

Bei den letzten drei Formeln wurden nur so viele Beobachtungen aufgenommen, als zur Bestimmung der Coefficienten nöthig waren, Paucker[3] aber wandte auf alle zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers liegende die Methode der kleinsten Quadrate an, und erhielt dann für englische Zolle und Temperaturen nach der 80theil. Scale:

$$\text{Log. } \varepsilon = 30 - 0{,}019127878274\,(80-t) - 0{,}0001096547488\,(80-t)^2 + 0{,}00000010953936\,(80-t)^3.$$

Die dritte Formel dieser Art ist die von Kämtz[4], sie alle aber haben den gemeinschaftlichen Fehler, dafs sie bei ihrer Anwendung auf sehr hohe Temperaturen zu widersinnigen Resultaten führen, indem die Elasticität des Dampfes danach wieder abnimmt oder gar negativ wird. Man vermindert diesen Fehler durch die Aufnahme mehrerer Glieder, aber dann werden sie durch ihre Weitläuftigkeit unbrauchbar. Weit mehr

---

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 321 ff.

2 Philos. Magaz. and Ann. T. I. p. 1. Sie ist neuer, als der Art. *Dampf*.

3 Ueber die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme auf physikalische Beobachtungen. Mitau 1819. 4. S. 26.

4 Untersuchungen über die Expansivkraft der Dämpfe. Halle 1826. 8. Vergl. Art. *Dampf*. S. 345.

den Beobachtungen, hauptsächlich in den niederen Graden, angemessen und nur für die höheren und höchsten abweichend ist die Formel von August[1], welcher bemerkte, daſs die Expansionen des Wasserdampfes für gleichmäſsig wachsende Temperaturen eine geometrische Reihe mit abnehmenden Exponenten bilden, und hiernach annahm, daſs sie durch die allgemeine Formel

$$e = a m^{\frac{1}{1+\beta t}}$$

sich ausdrücken lassen. Indem er hierin die einzelnen Gröſsen nach bekannten Werthen bestimmte, so erhielt er für metrisches Maſs und Centesimalgrade

$$\text{Log. } \varepsilon = \frac{23,945371\, t}{800 + 3t} - 2,2960383,$$

also

$$t = \frac{800}{3} \cdot \frac{2,2960383 + \text{Log. } \varepsilon}{5,6857520 - \text{Log. } \varepsilon}.$$

Dieser analytische Ausdruck hat noch den Vorzug, daſs er für die höchsten Temperaturen nicht zu Ungereimtheiten führt, doch ist (§. 535) bemerkt worden, daſs er für hohe Temperaturen von den Beobachtungen bedeutend abweichende Werthe giebt.

540) Egen führt einige vergebliche Versuche, die Relationen zwischen den Temperaturen und den Elasticitäten des Wasserdampfes auszudrücken, die im Artikel *Dampf*[2] nur beiläufig angegeben worden sind, weiter aus. Dahin gehört zuerst das von Dalton aufgestellte Gesetz, wie dieses durch Gilbert[3] mitgetheilt worden ist. Werden die Temperaturunterschiede nach Gröſsen von 11°,25 F. gemessen, und nennt man 1,25 = a, 0,015 = b, so gehören folgende Temperaturen und Expansivkräfte einander zu:

---

1 Aus den von Kämtz zusammengestellten mittleren Werthen der zuverlässigsten Messungen fand er, daſs die Divisionen jeder folgenden Gröſse durch die vorhergehende gleichmäſsig abnehmende Quotienten geben. Es ist nämlich $\frac{4,62}{2,10} = 2,20$; $\frac{10,08}{4,62} = 2,18$; $\frac{20,35}{10,08} = 2,02\ldots$. Wären alle Quotienten gleich, so bildeten die Elasticitäten eine geometrische Reihe und könnten durch $e = a m^t$ ausgedrückt werden.

2 Bd. II. S. 329. 333. 347.

3 Dessen Annalen Bd. XV. S. 34.

Temperaturen.	Elasticitäten in engl. Zoll.
212	30
212 + 1 (11,25) .	$30^{(a-b)}$
212 + 2 (11,25) .	$30^{(a-b)(a-2b)}$
⋮	⋮
212 + m (11,25) .	$30^{(a-b)(a-2b)(a-3b)\ldots(a-mb)}$.

Ferner für Temperaturen unter dem Siedepuncte:

Temperaturen.	Elasticitäten.
212	30
212 — 1 (11,25) .	$30^{\frac{1}{a}}$
212 — 2 (11,25) .	$30^{\frac{1}{a(a+b)}}$
212 — 3 (11,25) .	$30^{\frac{1}{a(a+b)(a+2b)}}$
⋮	⋮
212 — m (11,25) .	$30^{\frac{1}{a(a+b)(a+2b)\ldots(a+(m-1)b)}}$.

Dafs diese Ausdrücke fehlerhaft sind, ergiebt sich bald, denn zuerst haben sie keine allgemeine Gültigkeit, weil für m nur ganze Zahlen zulässig sind. Setzt man ferner $mb = 0,25$, also $m = 16$, so giebt dieses das Maximum der Expansivkraft für $212° + 180° = 392°$ F, und von hier an werden die Expansivkräfte wieder abnehmend. Setzt man $mb = 1,25$, so erhält man für die Temperatur 1145°,75 F. die Spannkraft = 1 Zoll, und sie bleibt bei allen höheren Temperaturen unverändert. Ebenso verhält es sich mit der von Ure angegebenen Regel, welche Egen auf folgende Weise anschaulich macht.

Temperaturen.	Elasticitäten in engl. Zoll.
210° F.	28,9
210 + 10	28,9 (1,23)
210 + 2 × 10 . . .	28,9 (1,23) (1,22)
⋮	⋮
210 + m . 10 . . .	28,9 (1,23) (1,22) .... (1,23 — m . 0,01).

Ferner für abnehmende Temperaturen:

210 — 10	28,9 : (1,24)
210 — 2 × 10 . . .	28,9 : (1,24) (1,25)
⋮	⋮
210 — m . 10 . . .	28,9 : (1,24) (1,25) ... (1,23 + m . 0,01).

Für m = 23, also 440° F. erhält man das Maximum der Elasticität; von da an nimmt sie ab, und wird für m = 123 oder für 1440° F. = 0, was unmöglich mit dem Naturgesetze bestehn kann. Die von Evans aufgestellte Regel, dafs die Elasticität sich für 16⅔ Grad C. verdoppele, gilt zwar für 80° C., unter dieser aber bedarf es einer geringeren, über derselben einer grösseren Wärmezunahme, wenn die Expansivkraft sich verdoppeln soll. Schon hieraus ergiebt sich, dafs die von Christian[1] aufgestellte Regel, die Elasticität werde durch eine Temperaturerhöhung von 22° C. verdoppelt, nicht allgemein gültig sein kann; sie pafst nur unmittelbar über dem Siedepuncte. Ueber seine allgemeine Formel ist am gehörigen Orte[2] ausführlich gehandelt worden. Die von den französischen Akademikern (§. 535) gleichfalls verworfene Formel von Tregaskis[3] ist auf die Voraussetzung gegründet, dafs die Elasticitäten und Temperaturen geometrische Progressionen bilden, deren Exponenten 1 und 1,2 seyn sollen. Hiernach wäre

$$\varepsilon = 2^{\frac{\text{Log. } t - 2}{\text{Log. } 1,2}}$$

der

1 Mécanique industrielle. T. II. p. 240. Diese Formel wird als vorzugsweise geeignet zur Berechnung des Effectes der Dampfmaschinen in Schutz genommen durch Bezaine, in Mém. de l'Acad. de Petersb. VIme Sér. T. II. Livr. III. Sobald man blofs diesen Zweck im Auge hat, läfst sich dagegen nichts einwenden; denn der gewöhnliche Druck bei Dampfmaschinen ist der atmosphärische oder ein nur wenig höherer, und wenn man auch zu höheren Pressungen bei den sogenannten Hochdruckmaschinen übergeht, so geschieht dieses doch nicht in einer solchen Ausdehnung, dafs hieraus bedeutende Abweichungen von der aufgestellten Regel erwachsen könnten. Ganz anders aber gestaltet sich die Sache, wenn von einer Formel die Rede ist, die ebensowohl die Elasticitäten bei sehr niederen, als auch bei sehr hohen Temperaturen den Messungen genügend ausdrücken soll. Eben dieses läfst sich sagen über das durch Dufour ausgesprochene Gesetz, welcher für die Zunahme des Druckes um eine Atmosphäre von 100° an eine stets abnehmende Vermehrung der Thermometergrade annimmt. Hiernach gehören für 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 u. s. w. Atmosphären Druck die Temperaturen: 100; 122; 135; 145; 153; 160; 166 u. s. w., deren Unterschiede = 22; 15; 10; 8; 7; 6 u. s. w. sind.

2 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 337.

3 Ann. de Chim. et Phys. 1830. Janv. Edinburgh Journ. of Science. N. XIX. p. 68. N. XX. p. 282.

$$\text{Log. } \varepsilon = \frac{(\text{Log. } t - 2) \text{ Log. } 2}{\text{Log. } 1{,}2},$$

doch weicht dieses in höheren Temperaturen sehr merklich von den Beobachtungen ab.

YOUNG's Formel und die von SOUTHERN sind oben (§. 535) erwähnt worden, es wird hier aber hinzugesetzt, dafs JOHN FAREY in seinem grofsen Werke über Dampfmaschinen[1] statt der Gröfse $T = t + 52$, welche SOUTHERN selbst in $T = t + 51{,}5$ verwandelt hatte, die Gröfse $T = t + 51{,}3$ wählte. Wendet man diese unbedeutend veränderte Formel an, so zeigen sich folgende Abweichungen der nach ihr berechneten und durch sichere Beobachtungen gefundenen Werthe:

Expansivkraft		Temperaturen		Unterschiede.
		wahre	berechnete	
$\frac{1}{150}$	Atmosph.	0°,0 C.	1°,6 C.	+ 1°,6
2	—	121,1	121,1	0,0
4	—	145,0	145,5	+ 0,5
8	—	171,8	173,3	+ 1,5
16	—	203,1	204,6	+ 1,5
24	—	224,2	225,4	+ 1,2

In niedrigen und sehr hohen Temperaturen weicht sie also am meisten ab, weniger aber, als irgend eine der frühern Formeln. Die ihr fast gleiche von CRICHTON wird hier blofs beiläufig erwähnt, sie heifst aber, wie POGGENDORFF in einer Anmerkung hinzusezt:

$$6 \,[\text{Log. } (t + 85) - 2{,}22697] = \text{Log. } (\varepsilon - 0{,}09).$$

Ebenso giebt EGEN nur kurz die Formel von CORIOLIS an, prüft aber näher die von TREDGOLD, welche nach ihm für t' in Graden nach F. und ε' = der Elasticität in englischen Zollen der Quecksilbersäule heifst:

$$\varepsilon' = \frac{(t' + 100)^6}{177},$$

nach MELLET aber für Meter und Centesimalgrade:

$$100\, \varepsilon'' = \frac{(t + 73)^6}{84},$$

oder besser

$$100\, \varepsilon'' = \frac{(t + 75)^6}{85}.$$

---

1 A Treatise on the Steam-Engine. Lond. 1828. 4. p. 72.

Die Prüfung derselben giebt folgende Resultate:

Expansivkraft	Temperatur wahre	Temperatur berechnete	Abweichung.
$\frac{1}{150}$ Atmosph.	0°,0 C.	1°,3 C.	+ 1°,3 C.
0,25 —	65,5	63,8	— 1,7
0,5 —	81,7	80,9	— 0,8
2 —	121,1	121,4	+ 0,3
4 —	145,0	145,4	+ 0,4
8 —	171,8	172,4	+ 0,6
20 —	214,7	213,2	— 1,5
24 —	224,2	222,1	— 2,1

wonach also die Unterschiede gröſser sind, als wenn man nach Tarey's Formel rechnet. Die von den französischen Akademikern gefundene Formel weicht von den Beobachtungen bei niederen Temperaturen noch stärker ab, als die zuletzt erwähnten, für höhere Temperaturen über der Siedehitze nur um 0°,6, wonach sie also in diesem Bereiche für ziemlich genau gelten kann.

Endlich prüft Egen noch diejenigen Formeln, welche auf theoretische Gründe gestützt sind. Dahin gehört zuerst die von Poisson, worüber er auf gleiche Weise urtheilt, als bereits oben[1] geschehen ist. Mayer's Formel verwirft er deswegen, weil sie zu sehr von den Beobachtungen der pariser Akademiker abweichende Resultate giebt. Eben dieses ist der Fall, wenn man in ihr die aus Arzberger's Versuchen entnommenen Constanten einführt[2], oder diejenigen, welche Kämtz[3] aus Dalton's Messungen mittelst der Methode der kleinsten Quadrate gefunden hat, wonach sie für pariser Zolle und Grade nach R. heiſst:

$$\text{Log. } \varepsilon = 5{,}626 + \text{Log. } (213{,}34 + t) - \frac{1680{,}5944541}{213{,}34 + t},$$

so daſs also nach Egen diese Formel, ungeachtet der groſsen Aufmerksamkeit, die man ihr in Deutschland geschenkt hat, gänzlich zu verwerfen scheint. Die zuletzt gleichfalls erwähnte Formel von Roche ist oben (§. 535) schon mitgetheilt worden.

541) Ehe wir die weiteren Untersuchungen hier aufnehmen,

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 342. Vergl. G. LXXVI. 280.
2 Auch hierüber s. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 343 ff.
3 Untersuchungen über die Expansivkraft der Dämpfe. Halle 1826.

sey es uns erlaubt, einige Bemerkungen vorauszuschicken. Ob die Mayer'sche Formel in der That so verwerflich sey, als hier angenommen wird, bleibt noch immer fraglich. Auf jeden Fall sind die Principien, worauf sie beruhet, nicht durchaus verwerflich, das Mittel der Prüfung aber, sie den späteren Messungen, namentlich denen der Pariser Akademiker, anzupassen, muſs nothwendig als unzulässig erscheinen. Ein Hauptelement derselben ist der Coefficient der Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten durch Wärme. Dieser ist $=\frac{1}{213}$ nach der 80theil. Scale, also 0,003755 für 1° C. angenommen, und da er nach den neuesten Untersuchungen (§. 493) nur 0,003646 beträgt, so konnte schon aus diesem Grunde die numerische Entwickelung der Formel keine richtigen Gröſsen geben. Zur Bestimmung der Constanten wurden die Resultate der damals bekannten Messungen, und unter diesen die von Arzberger, genommen; da aber viele der ersteren und namentlich die letzteren nach den Pariser Messungen als falsch erscheinen, so war es weder für Arzberger noch für Kämtz möglich, auf diesem Wege zu einer den Beobachtungen der Pariser Akademiker genügenden Formel zu gelangen. Endlich nahm Mayer den atmosphärischen Luftdruck zu 336 Par. Linien an, statt daſs derselbe 0,76 Meter oder 336,905 Par. Linien beträgt, wonach also alle Bestimmungen für Atmosphären im Verhältniſs von 336 : 336,905 zu klein sind. Inzwischen könnte Letzteres keine sehr bedeutenden Unterschieden herbeiführen, wenn nur die für höhere Temperaturen zum Grunde gelegten Messungen genauer wären, allein die französischen Akademiker bemerken (§. 534), daſs die Temperatur von 222° C., welche Arzberger für 20 Atmosphären gefunden hat, nach ihnen einem Drucke von 23 Atmosphären zugehöre, der Unterschied der Temperaturen für diese beiden Pressungen beträgt aber 7°,2 C., und hieraus folgt daher nothwendig, daſs alle nach einer Formel berechneten Temperaturen, worin jene Messungen eingeführt sind, zunehmend zu hoch seyn müssen. Vergleichen wir die den höheren Pressungen zugehörigen Temperaturen, wie sie im Art. *Dampf* nach der Mayer'schen Formel berechnet worden sind, mit den durch die französischen Akademiker gefundenen, so erhalten wir folgende Unterschiede in genäherten Werthen:

Atmosphären	Temperaturen Mayer	Akademiker	Unterschiede.
5	155° C.	153° C.	2° C.
10	185	181	4
15	205	200	5
20	221	214	7

Hieraus ergiebt sich, dafs die Formel mit einem Fehler behaftet ist, welcher durch Einführung richtiger Constanten wegfallen würde. Der Mangel an Uebereinstimmung der nach ihr berechneten Werthe mit den Pariser Messungen, die bei der Bestimmung der Constanten gar nicht, statt ihrer aber erwiesen falsche berücksichtigt wurden, beweiset also durchaus nicht gegen ihre Zulässigkeit, vielmehr ist es rücksichtlich ihrer Einfachheit und Bequemlichkeit, wie nicht minder der Richtigkeit der Principien, die bei ihr zum Grunde liegen, allerdings der Mühe werth, nach Einführung neuer Constanten zu versuchen, wie nahe die nach ihr berechneten Werthe mit den genauesten, durch Beobachtungen gefundenen übereinstimmen.

Die zweite Bemerkung betrifft die Frage, welche bereits erörtert wurde[1], ob nämlich die Elasticität des Dampfes über dem Siedepuncte des Wassers anderen Gesetzen unterliege, als unter demselben. Nach abermaliger Prüfung glaube ich dieselbe auch jetzt noch verneinen zu müssen, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil das Sieden nicht an eine gewisse Temperatur gebunden ist, sondern lediglich vom Luftdrucke abhängt, mithin auch keinen Wendepunct der Elasticitäten herbeiführen kann. Man könnte auch noch das Argument geltend machen, dafs die Wärme des Dampfes, welche seine Elasticität bedingt, eine constante Gröfse ist, sobald wir die Summe der latenten und der sensiblen nehmen, und also auch hier keine Grenze eintritt, aufser dann, wenn die latente = 0 wird, also etwa bei 650° C. Ist aber diese Annahme gegründet, so kann auch die Formel der französischen Akademiker nicht völlig richtig seyn, da sie die Elasticitäten des Dampfes unter dem Siedepuncte nicht genau ausdrückt, vielmehr mufs man bei der Auffindung einer jeden Formel sowohl die geringsten, als auch die gröfsten Elasticitäten berücksichtigen, was auch bei spätern Versuchen geschehen ist.

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 550.

542) Egen hielt es nicht für räthlich, auf theoretische Argumentationen eine Formel zu gründen, weil uns die eigentlichen Gesetze für das Verhalten der Wärme rücksichtlich der durch sie bewirkten Expansion noch nicht hinlänglich bekannt sind, und er zog daher vor, diese aus den ihm als die genauesten erscheinenden Messungen zu entwickeln, indem er diejenige Reihe aufsuchte, welche die Temperaturen für eine geometrische Progression der Elasticitäten bilden. Hierzu verhalf ihm die Aufsuchung folgender Differenzen:

Expansion Atmosph.	Temperaturen	Differenzen Δ'	Δ''	Δ'''
$\frac{1}{128}$	2°,3 C.			
$\frac{1}{64}$	13,6 —	11,3		
$\frac{1}{32}$	25,4 —	11,8	0,6	
$\frac{1}{16}$	37,9 —	12,5	0,7	0,1
$\frac{1}{8}$	51,2 —	13,3	0,8	0,1
$\frac{1}{4}$	65,5 —	14,3	1,0	0,2
$\frac{1}{2}$	81,7 —	16,2	1,8	0,8
1	100,0 —	18,3	2,1	0,3
2	121,1	21,1	2,8	0,7
4	145,0	23,9	2,8	0,0
8	171,8	26,8	2,9	0,1
16	203,1	31,3	4,5	1,6

Nimmt man die dritten Differenzen als constant an, so läſst sich hieraus eine Reihe für die Temperaturen bilden, deren erstes Glied durch a, das erste Glied der Reihe der ersten Differenz durch b, das zweite Glied der zweiten Differenz durch c und die constante Differenz durch d bezeichnet werden möge. Auf diese Weise erhält man folgende 9 Bedingungsgleichungen:

$$
\begin{array}{lrcl}
1) & 37{,}9 & = & 2{,}3 + 36b + 3c + d \\
2) & 51{,}2 & = & 2{,}3 + 46b + 6c + 4d \\
3) & 65{,}5 & = & 2{,}3 + 56b + 10c + 10d \\
4) & 81{,}7 & = & 2{,}3 + 66b + 15c + 20d \\
5) & 100{,}0 & = & 2{,}3 + 76b + 21c + 35d \\
6) & 121{,}1 & = & 2{,}3 + 86b + 28c + 56d \\
7) & 145{,}0 & = & 2{,}3 + 96b + 36c + 84d \\
8) & 171{,}8 & = & 2{,}3 + 106b + 45c + 120d \\
9) & 203{,}1 & = & 2{,}3 + 116b + 55c + 165d
\end{array}
$$

Hieraus fand Egen durch eine einfache Methode $b = 11{,}51$; $c = 0{,}15$; $d = 0{,}40$. Eine hiernach gebildete Reihe gab mit

der gegebenen so genau übereinstimmende Werthe[1], daſs dieses zur weiteren Entwickelung der Formel aufforderte. Heiſst n die Ordnungszahl eines Gliedes in der Reihe der Temperaturen, so ist:

$$t = a + \frac{n-1}{1}\,b + \frac{(n-1)(n-2)}{1\,.\,2}\,c + \frac{(n-1)(n-2)(n-3)}{1\,.\,2\,.\,3}\,d$$

oder:

$$t = (a - b + c - d) + (b - \tfrac{3}{2}c + \tfrac{11}{6}d)\,n + (\tfrac{1}{2}c - d)\,n^2 + \tfrac{1}{6}d\,n^3.$$

Setzt man in der Reihe der Expansivkräfte das zu t gehörige Glied $= e$, das erste Glied $\frac{1}{128} = a'$ und den Progressions-Exponenten $= e'$, so ist (für diese geometrische Reihe)

$$e = a'\,.\,e'^{\,n-1}$$

oder:

$$n = \frac{\text{Log. } e - \text{Log. } a'}{\text{Log. } e'} + 1 = \frac{\text{Log. } e}{\text{Log. } e'} - \frac{\text{Log. } a'}{\text{Log. } e'} + 1.$$

Um abzukürzen, sey $\frac{\text{Log. } a'}{\text{Log. } e} - 1 = r$; $\frac{\text{Log. } e}{\text{Log. } e'} = x$;

$a - b + c - d = \delta$; $b - \frac{3}{2}c + \frac{11}{6}d = \gamma$; $\frac{1}{2}c - d = \beta$; $\frac{1}{6}d = \alpha$, wonach $n = x - r$. Dieses substituirt giebt:

$$t = \delta - (\alpha r^2 - \beta r + \gamma)\,r + [(3\alpha r - 2\beta)\,r + \gamma]\,x - (3\alpha r - \beta)\,x^2 + \alpha x^3,$$

oder auch:

$$t = \delta - (\alpha r^2 - \beta r + \gamma)\,r + \frac{(3\alpha r - 2\beta)\,r + \gamma}{\text{Log. } e'}\,\text{Log. } e + \frac{\beta - 3\alpha r}{\text{Log.}^2\, e'}\,\text{Log.}^2\, e + \frac{\alpha}{\text{Log.}^3\, e'}\,\text{Log.}^3\, e.$$

Es ist aber

$a = 2{,}3$; $b = 11{,}51$; $c = 0{,}15$; $d = 0{,}4$; $e' = 2$; $a' = \frac{1}{128}$, folglich auch

$$\alpha = 0{,}0666667;\ \beta = -0{,}325;\ \gamma = 12{,}0183333;\ \delta = -9{,}46;\ r = -8.$$

Werden diese Werthe substituirt, so erhält man

$$t = 100{,}02 + 65{,}1707\,\text{Log. } e + 14{,}07\,\text{Log.}^2\, e + 2{,}444\,\text{Log.}^3\, e \quad \text{(I)}$$

und es ist:

$$\text{Log. } 65{,}1707 = 1{,}81405;\ \text{Log. } 14{,}07 = 1{,}14830;\ \text{Log. } 2{,}444 = 0{,}38808.$$

Uebergehn wir die Abänderung der Coefficienten, wodurch Egen eine zweite, die Fehler noch mehr vermindernde, Formel erhielt, und die Vergleichung der berechneten mit den beobach-

1 Die Summe der Fehler beträgt — 0,3.

teten Werthen, woraus dieses hervorgeht, so verdient bemerkt zu werden, dafs er zur schärferen Bestimmung der Coefficienten 29 Beobachtungen auswählte, die er für die genauesten hielt, sie nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnete und dadurch folgende bis zur dritten Potenz gehende Gleichung erhielt:

$$t = 100 + 64{,}86106 \text{ Log. } e + 14{,}14528 \text{ Log.}^2 e + 2{,}50778 \text{ Log.}^3 e \ldots. \text{ (III).}$$

Als aber auch diese noch Abweichungen zeigte, die ihm zu grofs schienen, hielt er für besser, die Formel bis zur vierten Potenz auszudehnen, wonach sie allgemein ausgedrückt heifst:

$$t = 100 + s \text{Log.} e + r \text{ Log.}^2 e + q \text{ Log.}^3 e + p \text{ Log.}^4 e.$$

Zur Auffindung der Coefficienten dienten die auch früher gewählten 29 Beobachtungen, und diese gaben folgende Gleichungen:

$$1)\ 3145{,}167086\,p - 1291{,}8504756\,q + 611{,}462044\,r - 232{,}8610878\,s + 9686{,}6026822 = 0$$

$$2)\ 1291{,}8504756\,p - 611{,}462044\,q + 232{,}8610878\,r - 139{,}6054183\,s + 7294{,}4778232 = 0$$

$$3)\ 611{,}462044\,p - 232{,}8610878\,q + 139{,}6054183\,r - 38{,}9095565\,s + 1132{,}91996 = 0$$

$$4)\ 232{,}8610878\,p - 139{,}605183\,q + 38{,}9095565\,r - 44{,}6811735\,s + 2697{,}780132 = 0.$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich folgende Coefficienten:

$s = 64{,}29512$	$\text{Log.} s = 1{,}8081780$
$r = 13{,}89479$	$\text{Log.} r = 1{,}1428520$
$q = 2{,}909769$	$\text{Log.} q = 0{,}4638586$
$p = 0{,}1742634$	$\text{Log.} p = 0{,}2412062 - 1$

wonach also die Gleichung ist:

$$t = 100 + 64{,}29512 \text{ Log. } e + 13{,}89479 \text{ Log.}^2 e + 2{,}909769 \text{ Log.}^3 e + 0{,}1742634 \text{ Log.}^4 e \ldots \text{(IV).}$$

Da die Rechnung nach der Formel (III) kürzer ist, als nach der Formel (IV), so theilen wir die Tabelle ganz mit, worin Egen die Abweichungen der nach beiden berechneten Werthe von den beobachteten zusammengestellt hat. Man übersieht bald, dafs die Beobachtungen über 100° aus den französischen (§. 534) für Atmosphären von 0,76 Meter Quecksilberdruck, die von 100° C. bis 0° aus den englischen von Dalton und Ure, die für 0° von Gay-Lussac und die für noch niedrigere Temperaturen aus den oben (§. 538) mitgetheilten entnommen sind. Hiernach kann jede einzelne leicht an den angegebenen Orten aufgefunden werden, und ebenso leicht ist es, die nach den For-

meln berechneten Werthe aus den angegebenen Unterschieden zu finden. Diejenigen der beobachteten Werthe, welche zur Bestimmung der Coefficienten dienten, sind mit einem Sternchen (*) bezeichnet.

Elasticitäten		beobacht. Temper.	Abweichungen nach Formel III.	Formel IV.
23,93	Atmosph.	223°,9 C.	—0°,99 C.	—0°,56 C.
22,66*	—	220,4	— 0,27	+ 0,09
21,60*	—	218,3	— 0,60	— 0,29
21,31	—	217,3	— 0,28	+ 0,01
20,44	—	215,1	— 0,16	+ 0,08
18,55*	—	210,5	— 0,35	— 0,21
18,16*	—	209,1	0,00	+ 0,13
17,13*	—	206,1	+ 0,15	+ 0,24
14,53*	—	198,5	— 0,08	— 0,11
13,19*	—	193,7	+ 0,23	+ 0,13
11,66	—	188,4	— 0,34	— 0,25
10,60*	—	183,7	+ 0,37	+ 0,16
9,89*	—	180,7	+ 0,31	+ 0,09
8,11	—	172,1	+ 0,43	+ 0,13
7,61	—	169,5	+ 0,36	+ 0,06
7,39*	—	168,4	+ 0,24	— 0,06
6,51	—	163,2	0,00	— 0,05
5,12*	—	153,7	+ 0,30	— 0,02
4,86*	—	151,9	+ 0,10	— 0,23
2,14*	—	123,0	+ 0,06	— 0,13
1,00*	—	100,0	0,00	0,00
28,88*	engl. Zoll	98,89	+ 0,04	+ 0,05
23,60*	—	93,33	+ 0,04	+ 0,12
19,00*	—	87,78	— 0,38	— 0,01
12,04*	—	76,67	— 0,32	— 0,15
5,76*	—	60,00	— 0,35	+ 0,03
3,30*	—	48,89	— 0,27	— 0,01
1,86*	—	37,78	+ 0,10	+ 0,09
1,36*	—	32,22	+ 0,08	— 0,01
1,17*	—	29,44	+ 0,24	+ 0,10
0,72*	—	21,11	+ 0,28	+ 0,03
0,52*	—	15,56	+ 0,43	+ 0,09
0,365	—	10,00	+ 0,03	— 0,25
0,266	—	4,44	+ 0,34	+ 0,07
2,24*	Par. Lin.	0,00	0,00	— 0,19
1,80*	—	— 4,44	— 0,42	+ 0,61
1,51*	—	— 6,62	— 0,14	— 0,12
1,08*	—	—12,50	— 0,17	+ 0,18
0,60	—	—19,59	— 3,67	— 2,64

Wenn man die Unterschiede, welche zu 223°,9, zu — 4°,4 und zu — 19°,59 gehören, wegläfst, da die erste Messung wohl nicht genau genug seyn dürfte, bei so tiefen Temperaturen aber, als die, welcher die letzte zugehört, die verschwindend geringen Elasticitäten scharf zu messen wohl überhaupt nicht möglich seyn dürfte, und für die mittlere endlich die beiden Bestimmungen von Dalton und Ure unter sich stärker abweichen, als die Formel von dem Mittel ihrer Messungen, so sind die übrigen Abweichungen nicht bedeutend und zeugen für die Pafslichkeit der Formel, welche zugleich den Vorzug hat, dafs sie für höhere Temperaturen nicht zu widersinnigen Resultaten führt.

Mit Recht bemerkt Egen, dafs die Anwendung der Formel zur Auffindung der Elasticitäten für gegebene Temperaturen zu einer biquadratischen Gleichung führe, glaubt aber, dafs die hiernach sehr mühsame Rechnung durch eine Hülfstabelle bequemer gemacht werden könne, und zwar um so leichter, wenn die Aenderung der Elasticität für kleine Temperatur-Unterschiede bekannt sey. Um hierzu zu gelangen, differentiirt er die Formel, und findet hiernach die Aenderung der Temperatur für

1	Par.	Lin.	Untersch.	bei 336,9	Lin.	Dampfdruck	=	0°,083 C.
1	—	—	—	— 330,9	—	—	=	0,084
1	—	—	—	— 324,9	—	—	=	0,086

wonach zugleich die Bestimmung des *Siedepunctes der Thermometer*[1] corrigirt werden kann.

543) Nach einer so reichhaltigen Bearbeitung dieses Gegenstandes kann nur noch eine spärliche Nachlese übrig bleiben. Dahin gehört eine noch nicht veröffentlichte oder mir noch nicht zu Gesicht gekommene Arbeit von Biot, worüber erst eine vorläufige Anzeige bekannt geworden ist[2]. Hieraus erfahren wir zugleich, dafs Gay-Lussac sehr genaue Messungen der Elasticitäten des Wasserdampfes zwischen — 20° bis + 100° C. angestellt und ihm die Resultate vorläufig mitgetheilt hat, aus denen und den erwähnten der französischen Akademiker es ihm gelang, eine Formel zu construiren, welche

1 Vergl. *Thermometer.* Bd. IX. S. 891.

2 L'Institut. 1833. N. XXVI. p. 222. Poggendorff's Ann. XXXI. 42. Conn. de Temps pour 1839. Compt. rend. T. VI. p. 389. Poggendorff's Ann. XLIV. 627.

die Elasticitäten des Dampfes zwischen — 20° bis + 220° mit allen diesen Messungen genau übereinstimmend ausdrücken soll. Ueber die von ihm befolgte, blofs im Allgemeinen angegebene Methode läfst sich hier nicht wohl etwas Bestimmtes mittheilen, jedoch bemerkt er, dafs die Elasticität des Dampfes nach jeder Formel nicht bis ins Unendliche, sondern nur bis 1200 Atmosphären wachsen könne[1]. Auf eine später bekannt gewordene Bemerkung von PAMBOUR, dafs man das Verhältnifs der Elasticitäten des Wasserdampfes zu den Temperaturgraden noch nicht genau kenne, erwiderte BIOT, er habe unlängst der Akademie eine dieser Aufgabe genügende Formel für die Temperaturen von — 20° C. bis + 220° C. mitgetheilt, und wir erfahren hier zugleich, dafs die Formel heifst:

$$\text{Log. } f_t = a - a_1\,\alpha_1^{\,20+t} - a_2\,\alpha_2^{\,20+t}.$$

Hierin bezeichnet f_t das Maximum der Spannkraft des Dampfes bei der Temperatur t in Centesimalgraden des corrigirten Thermometers in Millimetern der Quecksilbersäule des Barometers bei 0° Temperatur. Ferner ist

$$a = 5{,}96131330259$$
$$\text{Log. } a_1 = 0{,}82340688193 - 1$$
$$\text{Log. } a_2 = 0{,}74110951837$$
$$\text{Log. } \alpha_1 = -\ 0{,}01309734295$$
$$\text{Log. } \alpha_2 = -\ 0{,}00212510583$$

Die Bestimmung der Coefficienten soll nicht mehr als 4 beobachtete Werthe, 2 unter und 2 über 100° C. bedurft haben; indefs bemerkt BIOT zugleich in einer Anmerkung, dafs er zuerst die Constanten bestimmt, dann durch Vergleichung mit den Beobachtungen dieselben stets mehr annähernd verbessert habe.

Wir müssen uns vorerst mit diesen kurzen Andeutungen begnügen, und erwarten, dafs sowohl GAY-LUSSAC seine neuen Beobachtungen, als auch BIOT das Detail seiner Berechnungen mittheilt. Beiläufig möge hier noch bemerkt werden, dafs JOHN SCOTT RUSSEL[2] die verschiedenen, ihm bekannten Formeln über die Elasticitäten der Dämpfe zusammengestellt hat und

1 Nach der Mayer'schen Formel läfst sich die Berechnung, so weit man will, fortsetzen; ob aber die gefundenen Werthe dann auch richtig sind, das läfst sich nicht entscheiden, so lange die Theorie noch nicht absolut sicher begründet ist.

2 Edinb. Philos. Trans. 1838. L'Institut 1839. 7me Ann. N. 299.

hierdurch zu der Ueberzeugung gelangt ist, daſs die Erfahrungen mit DALTON's Hypothese sehr wohl übereinstimmen.

544) Ehe die französischen Versuche bekannt waren, gleichzeitig mit der Anstellung derselben, unternahm SCHITKO[1], das Verhalten des Wasserdampfes im Allgemeinen unter bestimmte Gesetze zu bringen. Hierbei legt er diejenigen Sätze zum Grunde, die er über die Ausdehnung der Körper von jeglicher Aggregatform aufgestellt hat (§. 471), und untersucht dann zuerst die Dichtigkeit des Wasserdampfes, dann die Elasticität desselben, und zwar sowohl die specifische, als auch die absolute. Unter der ersteren versteht er diejenige, welche der Dampf von gegebener Dichtigkeit zeigt, wenn er durch Wärme ausgedehnt wird; allein es liegt in der Natur der Sache, daſs sich die Dichtigkeit mit dem Wechsel der Temperatur ändert, hiernach also seine Elasticität stets eine verschiedene seyn muſs, je nach den Wärmegraden, wovon man ausgeht. Nimmt man die Dichtigkeit desselben beim Siedepuncte als Einheit, so ist (§. 471) für jeden andern Wärmegrad der Centesimalscale die *specifische Elasticität:*

$$e = (1+\mu)^{x-X} = \frac{(1+\mu)^x}{1,375}, \text{ und}$$

$$\text{Log. } e = x \text{ Log. } (1+\mu) - \text{Log. } 1,375.$$

Es soll aber nach den bekannten Bestimmungen der Ausdehnung der Luft durch Wärme Log. $(1+\mu) = 0,0017256$ seyn, und da Log. $1,375 = 0,1383027$ ist, so hat man

$$\text{Log. } e = 0,0017256\,x - 0,1383027.$$

Es scheint mir nicht geeignet, die hiernach von 100° bis 300° C. berechneten specifischen Elasticitäten des Wasserdampfes hier aufzunehmen. Im Allgemeinen ersieht man aus der Formel, daſs für eine arithmetische Reihe der Temperaturen die specifischen Elasticitäten der Dämpfe in einer geometrischen wachsen.

Die absolute Elasticität des Wasserdampfes betrachtet SCHITKO als eine Function seiner Dichtigkeit und specifischen Elasticität, und wenn daher beide für gegebene Temperaturen über dem Siedepuncte bekannt sind, so ergeben sich hieraus die Elasticitäten von selbst. Heiſst nämlich die Dichtigkeit d und die

---

1 Wiener Zeitschrift. Bd. VI. S. 257.

specifische Elasticität e, so ist die absolute Elasticität E das Product dieser beiden Gröſsen, also

$$\varepsilon = d\,e \text{ und Log. } E = \text{Log. } d + \text{Log. } e.$$

Werden hierin die Werthe von d (§. 552) und von e substituirt, so hat man

$$\text{Log. } E = 4 \text{ Log. } x + \text{Log. } (1 + \gamma x) + 0{,}0017256\,x - 7{,}8404207.$$

Hierbei ist die Elasticität des Wasserdampfes bei der Siedehitze als Einheit angenommen. Will man diese Gröſse auf eine andere, z. B. auf die Höhe einer Quecksilbersäule oder den Druck gegen eine gegebene Fläche reduciren, so versteht sich von selbst, daſs, wenn diese Gröſse = a gesetzt wird, die Elasticität hiernach

$$E' = a\,E, \text{ also Log. } E' = \text{Log. } a + \text{Log. } E$$

seyn muſs. Schitko theilt in einer Tabelle von 100° bis 200° die hiernach berechneten, mit den damals bekannten Versuchen verglichenen, Werthe mit, und da es interessant ist, die nahe Uebereinstimmung zu überblicken, so nehme ich dieselbe hier gleichfalls auf.

Temp.	Schitko	Ure	Arzberger	Christian	Schmidt	Betancourt
100° C.	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
105	1,1997	1,2120	1,1872	1,1671	1,2136	1,2356
110	1,4269	1,4372	1,4016	1,3661	1,4371	1,5074
115	1,6836	1,6882	1,6466	1,5990	1,7150	1,8033
120	1,9721	1,9845	1,9291	1,8695	2,0253	2,1606
125	2,2949	2,2953	2,2432	2,1903	2,3928	2,5550
130	2,6540	2,6737	2,5879	2,5642	2,7935	3,0000
135	3,0522	3,1206	2,9822	3,0009	3,2877	3,3291
140	3,4918	3,6235	3,4197	3,5130	3,8993	
145	3,9754		3,9089	4,1120		
150	4,5020		4,4701	4,8125		
155	5,0849		5,0423	5,4531		
160	5,7163		5,6952	6,2753		
165	6,4023		6,4141	6,6937		
170	7,1459		7,1997	7,6927		
175	7,9499		8,0316			
180	8,7677		8,9892			
185	9,7507		10,0000			
190	10,7535		11,0910			
195	11,8287		12,2724			
200	12,9794		13,5441			

Für wenige Atmosphären ist die Uebereinstimmung mit den Resultaten der Versuche hinlänglich genau, mit steigender Temperatur aber wachsen die Abweichungen so sehr, daſs die Formel danach ihre Brauchbarkeit für die praktische Anwendung verlieren muſs, denn nach ihr eilen die Temperaturen noch mehr voraus, als nach der von Arzberger, die aus dieser Ursache von den Mitgliedern der Pariser Akademie verworfen wurde. Eine Vergleichung macht dieses anschaulich. Nach den Pariser Beobachtungen gehören zu 200° C. 14,91 Atmosphären, nach der Formel aber nur 12,9794, so daſs der Unterschied fast 2 Amosphären beträgt.

545) Für die Messung der Elasticität des Dampfes bei niederen Temperaturen ist in den neuesten Zeiten auf experimentalem Wege gar nichts geschehn[1], und es ist daher um so nöthiger, hier noch einen Apparat namhaft zu machen, welchen Prechtl[2] für diesen Zweck höchst sinnreich construirt hat. Es wird genügen, denselben nur nach seinen wesentlichsten Elementen anzudeuten, weil das Einzelne dann verschiedener Modificationen fähig ist. Der Haupttheil besteht aus einer etwa zwei Linien weiten Glasröhre, welche in ihrer Mitte so umgebogen ist, daſs ihre beiden Schenkel in einem Abstande von 1 bis 2 Zoll von einander parallel in die Höhe gehen. Der eine Schenkel derselben wird wie eine Barometerröhre zugeblasen, der andere in eine feine Spitze ausgezogen; dann wird so viel Quecksilber hineingebracht, als erforderlich ist, den einen Schenkel und die Krümmung auszufüllen, und dieses wird so ausgekocht, wie es bei Barometern üblich ist. Hierauf bringt man in den andern Schenkel eine hinlängliche Quantität Wasser, die nicht zu gering seyn darf, läſst dieses so lange sieden, bis kein tropfbarflüssiges Wasser mehr vorhanden ist, die Dämpfe aber sämmtlich aus der Spitze entwichen sind, und bläst diese an der Lampe zu, damit auch dieser Schenkel völlig luftleer werde. Diese so zubereitete und vertical aufgestellte Röhre muſs sonach zwei Quecksilbersäulen zeigen, deren eine um so viel kürzer ist, als die der jederzeitigen Wärme proportionale Elasticität des Wasserdampfes beträgt. Immerhin wird es am besten seyn,

Fig. 80.

1 Dieses gilt nur, insofern die §. 543 erwähnten Messungen von Gay-Lussac noch nicht bekannt geworden sind.

2 Wiener Zeitschrift. Bd. I. S. 383.

dafs so wenig Wasser als möglich in dem einen Schenkel bleibe, denn in diesem Falle zeigt sich bei verminderter Temperatur blofs ein geringer, an den inneren Wandungen desselben haftender Niederschlag; ist aber mehr darin zurückgeblieben, so bildet sich ein kleiner Wassercylinder auf der Oberfläche, dessen Druck bei den künftigen Messungen corrigirt werden mufs. Obgleich dieses mühsam ist, so scheint mir doch hierin nur eine geringe Fehlerquelle zu liegen, eine weit gröfsere dagegen ist in dem Einflusse zu suchen, welchen die Feuchtigkeit im Innern des einen Schenkels auf die Capillarität ausübt. Auf welche Weise dieser Fehler zu finden und zu corrigiren sey, ist schwer anzugeben, da hierüber keine genügenden, obendrein lie eigenthümliche, sehr bedingend einwirkende Beschaffenheit les gewählten Glases einschliefsenden Erfahrungen vorhanden sind. n Ermangelung eines besseren Vorschlages möchte ich rathen, lie gekrümmte Röhre, so lange beide Schenkel noch offen sind, nit etwas Quecksilber zu füllen, den einen Schenkel inwendig u befeuchten und den Einflufs, welchen dieses auf die Capilarität hat, aus längere Zeit fortgesetzten Messungen zu ermitteln. ollte sich die Capillarität in dem einen Schenkel nach dem uskochen ändern, so liefse sich dieser Unterschied aus der or und nach dem Auskochen genau gemessenen Krümmung ler Quecksilberoberfläche vielleicht annähernd berechnen[1], woei ein etwas gröfserer Aufwand von Zeit und Mühe nicht in etrachtung kommt, weil die einmal gefundene Gröfse, als contanter Fehler, bei allen künftigen Beobachtungen blofs eine infache Addition oder Subtraction erfordern würde. Nach 'rechtl sollen die Schenkel der Röhre nur etwa 12 Zoll Länge aben, und dieses genügt, um die Elasticität des Wasserdampfes n mittleren Temperaturen zu messen; es liegt indefs nicht ufser dem Bereiche der Möglichkeit, ja es ist sogar nicht einnal sehr grofsen Schwierigkeiten unterworfen, diese Messungen lurch künstliche Erwärmungsmittel bis zum Siedepuncte des Wassers auszudehnen, wobei der Apparat noch den grofsen Vortheil gewährt, dafs sich mit demselben die Elasticität des Wasserdampfes bis zu den tiefsten Graden der natürlichen Kälte messen läfst, wenn die Menge des im einen Schenkel befindlichen Wassers nicht genügt, um einen am Rande festsitzenden

1 Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1838.

Eisring zu bilden, oder dieser sich durch die Oscillationen der Quecksilbersäule losstoſsen läſst. Mit diesem Instrumente lieſse sich dann auch eine Vermuthung Biot's[1] prüfen, wofür die bisherigen Messungen nicht hinreichen (§. 543). Dieser Gelehrte glaubte nämlich gefunden zu haben, daſs gegen 0° C. Temperatur, in Folge der eintretenden Erstarrung des Wassers, eine kleine, aber doch merkliche, Aenderung der Elasticität des Dampfes eintrete, eine Erscheinung, die einer andern bekannten analog seyn würde, wonach etwas Salz, zum Wasser hinzugesetzt, die Spannkraft des gebildeten Dampfes vermindert (§. 526).

Daſs die angegebene zweischenklige Röhre so aufgerichtet stehn müsse, um den Unterschied der Höhen beider Quecksilbersäulen nach einer genau horizontalen Ebene scharf zu messen, versteht sich von selbst. Prechtl beschreibt eine hierzu geeignete Vorrichtung, wie die Röhre montirt seyn müsse, um den Unterschied der Höhen scharf zu messen, allein ich übergehe dieses, weil dem geübten Physiker, für welchen diese Apparate allein bestimmt seyn können, die verschiedenen Mittel, dieses zu erreichen, hinlänglich bekannt sind. Dahin gehört die hier genannte Mikrometerschraube, man könnte aber auch ein auf Glas geätztes Mikrometer anwenden und dieses mit Fernrohr, Loupe oder Mikroskop u. s. w. verbinden, endlich aber zur Correction einer möglichen Abweichung der zum Messen dienenden Linie die Röhre so montiren, daſs sie sich um ihre verticale Axe drehen lieſse. Sehr wesentlich ist, für eine hinlänglich lange Zeit constante Temperatur und deren genaue Messung Sorge zu tragen. Das Erstere läſst sich nur durch eine anhaltend unveränderliche Wärme der Umgebung erreichen, für Letzteres schlägt Prechtl ein empfindliches Thermometer mit langem Cylinder vor, um die den Röhren in ihrer beträchtlichen Länge eigenthümliche Temperatur zu messen, und die ganzen Grade dieses Thermometers müſsten dann wieder zur Erreichung gröſserer Schärfe in mehrere Theile getheilt seyn[2]. Endlich bemerkt Prechtl mit Recht, daſs der Apparat sehr

1 Compt. rend. T. VI. p. 389. Poggendorff's Ann. XLIV. 637.

2 Der Apparat gewinnt an Brauchbarkeit dadurch, daſs er eine weit getriebene Schärfe der Messungen gar nicht erfordert, sobald nur der Einfluſs der Capillarität corrigirt, für lothrechten Stand und ein richtiges Thermometer gesorgt worden ist. Alles andere läſst sich durch die so leicht mögliche Vervielfältigung der Beobachtungen erreichen.

geeignet sey, dem Dilettanten die mit der wachsenden Temperatur zunehmende Elasticität des Wasserdampfes anschaulich zu machen. Uebrigens ließsen sich auch die Spannungen der Dämpfe sonstiger Flüssigkeiten mit ähnlichen Apparaten messen, wie zu bemerken kaum nöthig ist.

546) Behalten wir die im Art. *Dampf* gewählte Ordnung bei, so würde erfordert werden, die neueren Untersuchungen über die Elasticität des *Alkoholdampfes* hier anzureihen; allein es sind mir keine Messungen derselben bekannt geworden, außer daſs Gay-Lussac (§. 543) versichert, er habe solche gleichfalls angestellt, worauf dann Biot versuchte, seine Formel für die Elasticitäten des Wasserdampfes auch diesen anzupassen, was mit genügendem Erfolge geschehn seyn soll. Bis diese Resultate näher bekannt werden, müssen wir uns mit dem begnügen, was im genannten Artikel enthalten ist, wo jedoch (S. 359) aus Versehen die bei der Tabelle zum Grunde liegende Formel fehlt. Diese heiſst:

$$\text{Log. } e = 5{,}029065 + \text{Log. } (213 + t) - \frac{1666{,}7}{213 + t},$$

worin e die Elasticität nach Pariser Zollen der Quecksilbersäule und t die Temperaturen in Graden der achtzigtheiligen Scale bezeichnen. Ebenso wenig sind die früheren Versuche über die Elasticität des *Schwefelätherdampfes*, des *Petroleumdampfes* und des *Terpentinspiritusdampfes* durch neuere vermehrt worden, wohl aber fand dieses beim Schwefelkohlenstoff statt.

547) Ueber die Elasticität des *Schwefelkohlenstoff-Dampfes* haben wir eine schätzbare Untersuchung durch Marx[1] erhalten. Allerdings sind die früheren bereits erwähnten Messungen von Despretz, Cluzel, Berzelius und Marcet, wozu noch die von mir übersehenen von Clement und Desormes[2] kommen, keineswegs von hinlänglicher Genauigkeit, um ein naturgemäſses Gesetz darauf zu gründen, und überhaupt glaube ich aus vielen Erfahrungen schlieſsen zu müssen, daſs die Beobachtung des Sinkens der Quecksilbersäule, wenn man in die Torricelli'sche Leere einige Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit bringt,

1 Schweigger's Journ. LXII. 460.
2 G. XIII. 89.

nie genaue Resultate giebt[1]. Die Bestimmungen von Caignard de la Tour für sehr hohe Temperaturen, die er durch die Compression der Luft in krummgebogenen Glasröhren erhielt[2], können auf keinen hohen Grad von Genauigkeit Ansprüche machen.

Der zu diesen neuen Messungen dienende Apparat und die befolgte Methode lassen sich mit wenigen Worten deutlich machen. Marx bediente sich eines gewöhnlichen Flaschenbarometers ab, dessen etwa 1,3 Lin. weite Röhre bis über 40 Zoll verlängert war. Nach dem bei dieser Länge beschwerlichen Auskochen wurde dieses Barometer, dessen aufwärts gebogene Flasche etwa 2 Z. hoch und 1,5 Z. weit war, auf einem mit der in Zoll und Linien getheilten Scale versehenen Brete befestigt und dieses an einem Stative lothrecht aufgehangen. Ein mit Sorgfalt angestellter Versuch, die Flasche durch einen Kork, in welchem die Thermometerröhre stecke, deren Kugel in den Schwefelkohlenstoff herabging, luftdicht zu verschließsen, mifslang ungeachtet des Ueberbindens mit gefirnifster Leinwand und Thierblase; es blieb also kein Mittel übrig, als die Oeffnung der Flasche in eine feine Spitze auszuziehn diese beim Sieden des Schwefelkohlenstoffs zuzublasen, und das zum Messen der Temperatur dienende Thermometer neben dem Gefäfs des Barometers in das zum Erwärmen oder Erkälten dienende Wasser zu senken[3]. Zur Erwärmung der Flasche des Barometers diente ein Metallgefäfs mit Wasser, in welches die Flasche gesenkt war; dieses Gefäfs aber befand sich wieder in einem andern gröfseren, gleichfalls mit Wasser gefüllten, welches auf einem allmälig geheizten Windofen stand. Sollte die Temperatur unter die der Umgebung herabgebracht werden, so wurde

Fig. 81.

1 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 341.

2 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 280.

3 Man erhält auf diese Weise die Temperaturen ebenso genau, als wenn man das Thermometer in die Flüssigkeit selbst taucht, mufs dann aber die zum Erwärmen dienende Flüssigkeit abwechselnd erwärmen und erkälten, bis jede Veränderung seiner Temperatur, die aufserdem nicht grofs seyn darf, das Thermometer sowohl, als auch die Quecksilbersäule sinken oder steigen macht. Ist dieses einige Male erfolgt und werden dann beide stationär, so kann man von der Gleichheit der beide afficirenden Temperatur überzeugt seyn; allein das Verfahren kostet unglaublich viel Zeit.

das Wasser im gröfseren Gefäfse durch Schnee erkältet, für die Versuche unter dem Gefrierpuncte des Wassers aber diente eine kaltmachende Mischung in dem Gefäfse, worin sich die Flasche und das Thermometer befanden[1].

Die erforderlichen Correctionen waren zuerst die Capillarität, welche nach der Vergleichung mit einem guten Heberbarometer 0,82 Par. Linien betrug, dann die Gefäfscorrection, welche aus einer vorläufigen Messung der Tiefe, bis zu welcher das Quecksilber in der Flasche sank, wenn es in der Röhre 3 Zoll stieg, entnommen wurde. Eine dritte Correction für die Ausdehnung der Quecksilbersäule durch ungleiche Wärme nnd eine vierte für den nicht eingetauchten Theil der Thermometerröhre wurden weggelassen, die letztere von diesen gewifs mit Recht, weil sie zu unbedeutend und überhaupt wohl kaum genau bestimmbar ist, die erstere aber war, wie Marx selbst bemerkte, sicher nicht ohne merkbaren Einflufs[2]. Bei den beiden Versuchsreihen, deren eine die aufsteigende, die andere die absteigende heifsen kann, wurde für je halbe Grade nach R. die Höhe der Quecksilbersäule abgelesen, und zwar von 7° R. an bis 47°,5, worauf dann das aus beiden entnommene Mittel als Grundlage der Berechnung diente, die nach der Mayer'schen Formel angestellt wurde. Diese heifst bekanntlich

$$\text{Log. } e = A + \text{Log. } (213 + t) - \frac{B}{213 + t},$$

1 Leider sind diese, bis — 7° R. herabgehenden Versuche etwas übereilt worden, denn sie dauerten nur eine halbe Stunde, und es konnten daher das Thermometer und die Flasche nicht gleiche Temperaturen annehmen. Da genaue Messungen der Elasticitäten des Dampfes bei tiefen Thermometergraden von grofser Wichtigkeit sind, so bemerken wir, dafs die kaltmachende Mischung nicht in das innere Gefäfs gebracht werden mufste, vielmehr wäre es ein Leichtes gewesen, dieses mit Weingeist zu füllen, im äufseren aber die kaltmachende Mischung zu bereiten, die von Zeit zu Zeit erneuert werden konnte.

2 Marx bemerkt, dafs diese Correction bei früheren Versuchen, auch den meinigen über die Elasticität der Dämpfe des Schwefeläthers (s. oben Bd. II. S. 367), weggelassen worden sey. Allerdings war man früher hierin nicht so genau, und ich selbst corrigirte bei den erwähnten Versuchen falsch, indem ich die mittlere Wärme zwischen der der Flasche des Barometers und der der äufseren Umgebung nahm. Kennt man die Wärme der beiden Enden einer Säule, so läfst sich nach §. 294 die Temperatur der ganzen hinlänglich genau finden.

worin e die Elasticität in Par. Linien, t die Grade des Thermometers nach R. und A nebst B zu bestimmende Constanten bezeichnen. Letztere ergaben sich in genäherten Werthen aus zwei ziemlich weit von einander liegenden Messungen bei 15°,5 und 40°, indem diese in die Formel substituirt wurden. Hiernach ist

$$\text{Log. } 126{,}5 = A + \text{Log. } 228{,}5 - \frac{B}{228{,}5},$$

$$\text{Log. } 367{,}0 = A + \text{Log. } 253{,}0 - \frac{B}{253{,}0}$$

und also A = 4,06380; B = 987,25. Durch eine schärfere Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden indeſs die Coefficienten näher bestimmt und gaben dann die Formel

$$\text{Log. } e = 4{,}0653887 + \text{Log. } (213 + t) - \frac{987{,}5164}{213 + t}.$$

Zur Auffindung der Formel wurden bloſs die Beobachtungen von 7° R. bis 47°,5 genommen, weil die tiefer liegenden aus angegebenen Gründen zu wenig genau zu seyn schienen. Die nachstehende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Elasticitäten in Pariser Linien und die ihnen zugehörigen Temperaturen nach der achtzigtheiligen Scale. Die Unterschiede ergeben sich hiernach von selbst.

Temperat.	Elasticitäten		Temperat.	Elasticitäten	
	beobacht.	berechn.		beobacht.	berechn.
— 7° R.	32,00 P.L.	38,60 P.L.	10° R.	96,62 P.L.	96,67 P.L.
— 6	38,00	40,81	11	101,12	101,41
— 5	39,00	43,23	12	106,75	106,80
— 4	40,36	45,78	13	111,75	112,18
— 3	44,00	48,43	14	117,79	117,80
— 2	48,60	51,22	15	123,50	123,61
— 1	55,50	54,15	16	129,37	129,72
0	58,50	58,41	17	135,75	136,01
1	60,25	60,42	18	142,25	142,56
2	63,30	63,79	19	148,81	149,40
3	65,10	65,76	20	156,25	156,43
4	71,00	70,95	21	163,52	163,75
5	75,00	74,81	22	171,29	171,17
6	78,00	78,80	23	179,12	176,36
7	83,24	82,99	24	187,62	187,70
8	87,50	87,37	25	196,37	196,24
9	91,62	91,92	26	205,12	205,08

Temperat.	Elasticitäten beobacht.	Elasticitäten berechn.	Temperat.	Elasticitäten beobacht.	Elasticitäten berechn.
27° R.	213,75 P.L.	213,77 P.L.	38° R.	339,12 P.L.	339,20 P.L.
28	224,37	223,79	39	354,87	353,17
29	233,35	233,62	40	367,62	367,56
30	243,13	243,94	41	382,37	382,24
31	253,88	254,47	42	396,86	397,41
32	264,37	265,41	43	414,62	413,20
33	275,87	276,75	44	431,20	429,10
34	287,37	288,45	45	447,00	446,05
35	299,87	300,38	46	462,12	463,38
36	312,12	313,06	47	482,00	481,09
37	325,62	326,02	47,5	494,00	490,18

548) Zur Ermittelung der Elasticität des *Quecksilberdampfes* unter dem Siedepuncte dieses Metalles hat Avogadro[1] eine Reihe von Versuchen angestellt, die zwar nicht in jeder Hinsicht vollkommen, aber doch insofern sehr schätzbar sind, als sie eine wesentliche Lücke in diesem Gebiete der Wissenschaft ausfüllen und ihre Resultate sich an andere bereits ausgemachte Thatsachen anknüpfen lassen. Hierbei geht Avogadro von dem bekannten Satze aus, dafs das Quecksilber bei 360° des Quecksilberthermometers oder bei 350° des Luftthermometers[2] siede und seine Dämpfe dann also eine Spannung gleich dem atmosphärischen Drucke oder einer Quecksilbersäule von 0,76 Meter haben. Ebenso ist wohl erwiesen, dafs die Dämpfe des Quecksilbers bis zu 100° C. noch keine merkliche Elasticität ausüben, und die Messungen konnten daher erst mit dieser Temperatur beginnen.

---

1 Mém. de l'Acad. de Turin. T. XXXVI. Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 369. Poggendorff's Ann. XXVII. 60.

2 Avogadro redet in Beziehung auf diesen Unterschied stets nur von einer wegen *ungleicher Ausdehnung des Glases* erforderlichen Correction; allein diese ist vorzugsweise wegen der ungleichen, mit den Temperaturen wachsenden Ausdehnung des Quecksilbers erforderlich, und müfste sogar additiv seyn, wenn sie sich auf die Ausdehnung des Glases allein bezöge, statt dafs sie subtractiv ist. Heifsen nämlich die gemessenen Grade des Quecksilberthermometers T, die corrigirten T′, der Coefficient der kubischen Ausdehnung des Quecksilbers k, des Glases k′, so wäre

$$T' = T\,(1 - k + k').$$

Die Ausdehnung des Glases war übrigens in den durch Dulong und Petit gefund. Resultaten schon mit begriffen. S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 599.

Auf die gewöhnliche Weise mit Dampf im luftleeren Raume zu experimentiren war wegen der erforderlichen hohen Temperatur nicht möglich, und es blieb daher nur das Mittel übrig, den erzeugten Quecksilberdampf mit Luft zu verbinden und nach Abzug des Druckes der letzteren den des ersteren aus der gemessenen Gröfse des gemeinschaftlichen Druckes zu ermitteln. Der gebrauchte Apparat bestand aus einem umgekehrten Heber, dessen einer längerer Schenkel offen, der andere kürzere aber mit einer Kugel versehn war. In demselben befand sich Quecksilber, welches die Kugel so weit füllte, dafs auch bei der Ausdehnung der Luft durch Wärme die Luft und die mit ihr vereinten Quecksilberdämpfe nicht völlig aus der Kugel getrieben wurden, und es blieb vielmehr stets eine hinlänglich grofse Oberfläche des Quecksilbers, um die über ihr befindliche Luft völlig mit Quecksilberdampf zu sättigen. Vor allem mufste daher zuvor ausgemittelt werden, um wie viel die durch Wärme ausgedehnte Luft vor der Aufnahme der Quecksilberdämpfe, also bis zum Siedepuncte des Wassers erhitzt, das Quecksilber in der längeren, mit einer feinen Scale versehenen Röhre in die Höhe trieb, um hieraus, mit Rücksicht auf den wachsenden Druck der verlängerten Quecksilbersäule und das Sinken des Quecksilberniveaus in der Kugel, die Wirkung der Luft für sich allein zu finden. Dafs die in der Kugel befindliche Luft durch salzsauren Kalk gehörig ausgetrocknet und das Quecksilber vor dem Einbringen durch gehöriges Erhitzen von aller Feuchtigkeit befreiet worden war, darf kaum bemerkt werden. Der Apparat wurde daher in siedendes Wasser getaucht, die Höhe, bis zu welcher das Quecksilber in der längeren Röhre getrieben worden war, gemessen, und somit nach den erforderlichen Correctionen die Wirkung der Luft für sich allein bestimmt. Die Erwärmung für die höheren Grade geschah durch Eintauchen des ganzen Apparates bis über die Kugel in Olivenöl, ein zugleich in dieses eingesenktes Thermometer gab die Temperatur an, und indem die Hitze dieses Oelbades bis 300° C. stieg, wurde die Höhe der Quecksilbersäule im offenen Schenkel der Röhre an einer messingnen Scale gemessen und aufgezeichnet; die so erhaltenen Bestimmungen bildeten also eine aufsteigende Reihe. Nachdem die angegebene Höhe erreicht war, erkaltete der Apparat; die den Thermometergraden zugehörenden Höhen der Quecksilbersäule wurden gleichfalls aufge-

zeichnet, dieses gab eine absteigende Reihe, und die Vereinigung beider zu einem Mittelwerthe sollte dazu dienen, die ungleiche Erwärmung des Thermometers und der Kugel aufzuheben[1]. Von der beobachteten Expansion mufste die der Luft allein abgezogen werden, dann war eine Correction für die Verlängerung der Quecksilbersäule durch Wärme und eine zweite für den durch die verlängerte Quecksilbersäule vermehrten Druck auf die in der Kugel enthaltenen expansiblen Flüssigkeiten erforderlich.

Uebergehn wir die Angabe der einzelnen, hierzu erforderlichen Berechnungen, so ergaben sich aus den gemessenen Gröfsen folgende Resultate. Bezeichnet L die Länge der durch die vereinte Wirkung der Luft und des Dampfes gehobenen Quecksilbersäule, l die Wirkung der Luft für sich allein, so ist L — l die der Elasticität der Quecksilberdämpfe allein zukommende Gröfse. Heifst dann P der gesammte Druck der elastischen Flüssigkeiten, p der des Quecksilberdampfes allein, so giebt folgende Proportion:

$$L : L - l = P : p$$

die Gleichung

$$p = \frac{(L - l) . P}{L} = P\left(1 - \frac{l}{L}\right).$$

Die Versuche gaben folgende Werthe für p in Millimetern, wenn t Centesimalgrade bezeichnet:

t =	230;	240;	250;	260;	270;	280;	290.
p =	58,01;	80,02;	105,88;	133,62;	165,22;	207,59;	252,51.

Bei 300° war die Elasticität 309,40; allein da dieses Resultat nicht durch zwei Beobachtungen, eine bei steigender und eine andere bei abnehmender Temperatur, gefunden worden ist, so wird es hier weggelassen. Bei Temperaturen unter 230° C. zeigte sich die Spannung des Quecksilberdampfes so gering, dafs keine sichere Bestimmung zu erhalten war.

549) Die nächste Aufgabe war, für diese Elasticitäten des Quecksilberdampfes, sowohl die hier angegebenen, als auch die

1 Wie im vorigen §. angegeben wurde, genügt dieses Verfahren zu dem beabsichtigten Zwecke nicht, sondern man mufs sich der langwierigen Mühe unterziehn, durch stets abnehmende Schwankungen beider Mefsapparate die völlige Coincidenz zu erhalten.

dem Siedepuncte desselben zugehörige, eine empirische Formel aufzufinden. AVOGADRO wählt hierzu die bekannte:

$$e=(1+at)^m,$$

worin e das Maximum der Spannkraft gegen die als Einheit angenommene der atmosphärischen Luft (= 0,76 Meter Quecksilberhöhe); t die Temperatur von der des siedenden Wassers an; a und m durch Versuche zu bestimmende Constanten bezeichnen. Werden letztere durch die beiden Extreme, für 230° und 290° bestimmt, und nimmt man ein Temperaturintervall von 100 Graden C. zur Einheit, so wird a = 0,4548 und m = 2,875. Die beobachteten und berechneten Werthe stimmen hiernach nahe genug überein, allein die Formel

$$e = (1 + 0{,}4548 \cdot t)^{2{,}875}$$

giebt e = 0 für $t = -\frac{1}{0{,}4548}$, also für etwa — 2,2... oder für etwa 220° unter dem Siedepuncte des Quecksilbers, also für 140° C. über dem Gefrierpuncte des Wassers, und doch zeigen FARADAY's Versuche[1], dafs sich bei weit niedrigeren Temperaturen Quecksilberdampf bildet, welcher nothwendig einige, wenn auch nur eine geringe Elasticität haben mufs. Dieses Hindernifs wird beseitigt, wenn man LAPLACE's Formel mit der ihr durch BIOT gegebenen Erweiterung[2] wählt. Bezeichnet A die Spannkraft der Flüssigkeit für die Siedehitze, so ist der allgemeine Ausdruck:

$$e=A.\alpha^{t+\beta t^2+\gamma t^3+\cdots}$$

oder

$$\text{Log.}\,e=\text{Log.}\,A+(t+\beta t^2+\gamma t^3+\ldots)\,\text{Log.}\,\alpha$$

und einfacher

$$\text{Log.}\,e=\text{Log.}\,A+\alpha t+\beta t^2+\gamma t^3+\ldots,$$

die man auf so viele Glieder ausdehnen kann, als nöthig scheint. AVOGADRO nimmt als Einheit der Elasticität den atmosphärischen Druck von 0,76 Meter, das Intervall der Temperatur = 100° und, um den Zeichenwechsel der verschiedenen Potenzen von t zu vermeiden, t für Temperaturen unter 100° C. positiv. Da aber Log. 1 = 0 ist, so wird die Formel:

1 S. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1722.
2 S. Art. *Dampf*. Bd. I. S. 341 u. 329.

$$\text{Log.}\,e = a\,t + b\,t^2 + c\,t^3,$$

weil 3 Glieder völlig genügen. Statt alle 7 gefundenen Werthe zur Bestimmung der Coefficienten zu benutzen, werden hierzu nur die beiden äufsersten Beobachtungen und die für 260° benutzt, durch deren Combination die Constanten folgende Werthe erhalten:

$$\text{Log.}\,e = -\,0{,}64637\,t + 0{,}075956\,t^2 - 0{,}18452\,t^3.$$

Die hiernach berechneten Werthe weichen nur um 1 bis 2 Millimeter von den beobachteten ab, was als Beobachtungsfehler gelten kann. Die Formel giebt keinen Werth der Elasticität = 0, auch kein Minimum derselben, denn die Gleichung für das Minimum:

$$0 = -\,0{,}64637 + 0{,}075956\,.\,2t - 0{,}18452\,.\,3t^2$$

giebt für t einen unmöglichen Werth. Für den Schmelzpunct des Eises erhält man

$$e = 0{,}00000000011208 \text{ Atmosph.} = 0{,}00000008518 \text{ Millim.},$$

welche Gröfse sich offenbar nicht messen läfst. Ebenso ergiebt sich die Spannkraft des Quecksilberdampfes bei der Siedehitze des Wassers:

$$e = 0{,}00003889 \text{ Atmosph.} = 0{,}02944 \text{ Millim.}$$

und diese geringe Gröfse zeigt daher, dafs die Elasticitäten der Quecksilberdämpfe bis zu dieser Temperatur gar keinen Einflufs äufsern, also namentlich auch das *Barometer* nicht afficiren können [1].

In der Formel beträgt das durch t bezeichnete Intervall der Temperatur 100 Centesimalgrade; wollte man sie aber für einzelne Grade umwandeln, so dürfte man nur die Coefficienten mit 100 und dessen Potenzen dividiren, und erhielte dann:

$$\text{Log.}\,e = -\,0{,}0064637\,.\,t + 0{,}0000075956\,.\,t^2 \\ -\,0{,}00000018452\,.\,t^3,$$

die Grade der Temperatur gleichfalls vom Siedepuncte des Quecksilbers oder von 360° C. an positiv genommen. Uebrigens mufs noch bemerkt werden, dafs hierbei stets von Graden des Quecksilberthermometers die Rede ist. Avogadro zeigt, wie man die Formel auch für das corrigirte oder das Luftthermometer abändern könne, allein es ist leichter, die ge-

---

1 Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1852.

messenen Grade nach der oben[1] gegebenen Tabelle zu corrigiren. Die folgende Tabelle enthält die den Temperaturen zugehörenden Elasticitäten bis zum Siedepuncte des Quecksilbers, oder bis 360° des uncorrigirten Thermometers, wofür die Spannung 1 Atmosphäre oder 760 Millim. beträgt.

	Elasticitäten			Elasticitäten	
Temperat.	Atmosph.	Millim.	Temperat.	Atmosph.	Millim.
100° C.	0,00004	0,03	230° C.	0,07633	58,01
110	0,00009	0,07	240	0,10349	78,65
120	0,00022	0,16	250	0,13655	103,78
130	0,00047	0,35	260	0,17582	133,62
140	0,00096	0,73	270	0,22145	168,30
150	0,00188	1,43	280	0,27355	207,90
160	0,00343	2,61	290	0,33225	252,51
170	0,00603	4,58	300	0,39780	302,33
180	0,01015	7,71	310	0,47073	357,75
190	0,01638	12,45	320	0,55181	419,38
200	0,02539	19,30	330	0,64261	488,38
210	0,03790	28,80	340	0,74523	566,37
220	0,05466	41,54	350	0,86286	655,77

550) Die Elasticitäten einiger Dämpfe werden mitunter gelegentlich und meistens nur in genäherten Bestimmungen bei der Angabe ihrer Dichtigkeiten erwähnt, allein es scheint mir nicht geeignet, hier weiter auf diese Angaben einzugehn. Ebenso findet ein gewisses Verhältnifs zwischen den Dichtigkeiten und den Elasticitäten der Dämpfe statt, so dafs sich die letzteren aus den ersteren ableiten liefsen, wenn es der Mühe werth wäre, dieses Problem zum Gegenstande weiterer Untersuchungen zu machen. Manche Körper, namentlich Metalle, verdampfen allerdings in sehr grofser Hitze, allein es dürfte sobald nicht möglich seyn, weder die Elasticität, noch auch die Dichtigkeit dieser Dämpfe, ja sogar nur die Temperatur der beginnenden Verdampfung mit einiger Sicherheit zu bestimmen. Aufser dem, was schon früher hierüber bekannt war, ist neuerdings auch die bisher bezweifelte Verdampfbarkeit des *Titans* in der Hitze der Schmelzöfen durch Zincken factisch

1 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 959.

rwiesen worden[1]. Uebrigens zeigen sich auch hierbei merkwürlige Gesetze. So fand Fournet[2] durch eigens angestellte Veruche, dafs reines Blei in starker Weifsglühhitze bedeutend verlampft, Bleioxyd und Bleierz dagegen nicht; doch dürfte wohl ein Körper vorhanden seyn, welcher der Einwirkung einer ehr gesteigerten Hitze des Knallgasgebläses zu widerstehn verıöchte. Fournet's Versuche über die Verdampfung der Alagen bieten gleichfalls viel Interessantes dar, auch hat Jefery in Mittel aufgefunden, die Metalldämpfe bei den Hohöfen zu ondensiren[3], was jedoch alles hier nur im Vorbeigehn berührt rerden kann. Endlich ist auch wiederholt bemerkt worden, afs sich keine scharfe Grenze zwischen den Dämpfen und iasen ziehn läfst[4], und zwar aus dem Grunde, weil eine rofse Zahl der letzteren durch vermehrten Druck und verminerte Temperatur bereits *tropfbar-flüssig* gemacht wurde, worus eine Aehnlichkeit derselben mit den Dämpfen unverkennar hervorgeht. Die hierüber früher bekannten, bereits erwähnın[5] Versuche von Faraday sind durch spätere von Niemann[6] icht unbedeutend vermehrt worden, welcher für die nämlichen ase sehr ähnliche Werthe erhielt, als Faraday, und aufserem noch einige andere bestimmte. Die von ihm gefundenen esultate des Ueberganges ausder Gasform in die Form der tropfaren Flüssigkeit unter den angegebenen Pressungen in Atmohären und bei Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale ıthält folgende Tabelle.

---

1 Poggendorff's Ann. XXVIII. 160.

2 L'Institut. 1834. N. 49. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. . 412.

3 Dingler's polyt. Journ. Th. XVIII. S. 19.

4 Vergl. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 279 u. §. 569.

5 S. Art. *Gas*. Bd. IV. S. 1020.

6 Brandes Archiv. Th. XXXVI. S. 175. Fechner Repertorium. 'h. I. S. 180.

	Temper.	Druck
Ammoniak	12°,5 C.	6,5 bis 7
Chlorgas	12,5	8,5
	0,0	6,5
Euchlor	15,0	8,75
Chlorige Säure . . .	12,5	60,0
Salzsaures Gas	12,5	40,0
	0,0	33,0
Schwefligsaures Gas . .	12,5	3 ungefähr
Schwefelwasserstoffsäure	12,5	58,0
	0,0	54,0
Kohlensäure	0,0	40,0
	12,5	58 bis 60
Cyan	12,5	4

551) Wenden wir uns zu den Untersuchungen über die Dichtigkeit der Dämpfe und zwar zunächst des Wasserdampfes[1], so ist hierüber allerdings noch Einiges nachzutragen. Die wichtigsten früheren Messungen, die von Gay-Lussac und meine eigenen, gaben für das Verhältniſs zwischen Dampf und Luft bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke jene 10:16, diese 10:15,2242, so nahe übereinstimmend, daſs man seitdem die erste Bestimmung, theils wegen der überwiegenden Autorität, theils wegen der groſsen Bequemlichkeit der Rechnung, allgemein angenommen hat. Bedeutend kann dieselbe von der Wahrheit nicht abweichen, denn sonst müſste sich dieses bei den zahlreichen Anwendungen, die man seitdem von dieser Gröſse gemacht hat, schon herausgestellt haben, und wollte man auch einen Zweifel darauf gründen, daſs ein Verhalten in der Natur schwerlich auf so einfache Zahlenbestimmungen zurückzuführen sey, so könnte man doch nicht wohl anders, als das Mittel aus den beiden Bestimmungen nehmen was dann das wenig abweichende Verhältniſs 10:15,60 geben würde. Liegt nun zwar die Wahrscheinlichkeit der gröſseren Genauigkeit wegen der angewandten Methode auf der Seite meiner eigenen Versuche, so wird man sich doch von der Wahrheit nicht merklich entfernen, wenn man die bequemen

1 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 371.

Bestimmung von GAY-LUSSAC beim praktischen Gebrauche in Anwendung bringt. Aus meinen Versuchen geht gleichfalls hervor, dafs die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei der nämlichen Temperatur im luftleeren und im lufterfüllten Raume dieselbe ist, jedoch scheint sie im letzteren etwas gröfser zu seyn, wie denn auch zweierlei Dämpfe in demselben luftleeren und lufterfüllten Raume neben einander bestehn können und sich, wie es scheint, etwas zusammenziehn[1], analog der fast allgemeinen Erscheinung, dafs alle Verbindungen eine etwas gröfsere Dichtigkeit haben, als die der halben Summe beider. Diesen bestehenden Gesetzen wollen wir dasjenige anreihen, was seitdem in diesem Gebiete hinzugekommen ist.

ANDERSON[2] liefs eine grofse Menge Luft, die mit Wasserdampf gesättigt war, in einem langsamen Strome durch Schwefelsäure oder salzsauren Kalk strömen und suchte dann die Gewichtszunahme dieser austrocknenden Substanzen. Durch bei verschiedenen Temperaturen angestellte Versuche fand er das Gewicht eines Kubikfufses Dampf bei 9°,45 C. = 4,085 Engl. Grains; bei 15° C. = 5,679 Gr.; bei 25° C. = 9,828 Gr. und bei 28°,33 C. = 11,66 Grains. Im Mittel aus diesen vier Bestimmungen ist das Verhältnifs der Dichtigkeit des Dampfes zu der der Luft sehr nahe = 10 : 16.

Die Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes kommt vorzugsweise bei hygrometrischen Untersuchungen in Betrachtung[3]. Ist nämlich die Dichtigkeit des Dampfes im Maximum oder unter der Bedingung bekannt, dafs in dem gegebenen Raume so viel Wasser in Dampfgestalt vorhanden ist, als die bestehende Temperatur gestattet, und zeigt das Hygrometer den Grad dieser Sättigung in Procenten von 0 bis 1, drücken wir diesen Bruch durch $\frac{1}{n}$ aus und heifst die Dichtigkeit des Dampfes bei dieser Temperatur im Zustande der Sättigung D, die durch das Hygrometer bestimmte D', so ist $D' = \frac{1}{n} D$, wobei $\frac{1}{n}$ von 0 bis $\frac{100}{100} = 1$ wachsen kann. Eine

1 Vergl. oben §. 524.

2 Edinburgh Encyclop. Art. *Hygrometry*. DANIELL Meteorological Essays and Observations. Lond. 1823. T. I. p. 159.

3 Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1986.

interessante, aber sehr weitläuftige Aufgabe würde es seyn, den Wassergehalt der atmosphärischen Luft auf irgend eine Weise genau zu messen und mit den Angaben der besseren Hygrometer, namentlich das Psychrometers, zu vergleichen, um hieraus den Grad der Genauigkeit ihrer Angaben zu ermitteln. Der hierfür von Brunner[1] angegebene Apparat würde sicher unter den Händen eines aufmerksamen und geübten Experimentators sehr genügende Resultate geben, weswegen es angemessen ist, ihn hier zu erwähnen, und zwar nur im Allgemeinen, damit ein jeder diejenigen Modificationen anzubringen vermöge, die durch statt findende Nebenbedingungen ihm angemessen scheinen. Derselbe besteht aus einem grofsen gläsernen, mit Wasser gefüllten Behälter A, aus welchem durch ein über oder im Boden desselben befindliches verschliefsbares Rohr die Flüssigkeit in ein zweites Gefäfs B abfliefsen kann. In dem Halse des ersten, oben verschlossenen Behälters befindet sich eine rechtwinklig umgebogene Röhre, deren kurzer, horizontaler Theil cf mit etwas Chlorcalcium gefüllt ist, um die aus dem Sperrwasser etwa aufsteigenden Wasserdämpfe zu absorbiren. An das äufsere horizontale Ende dieser Röhre wird mittelst eines Verbindungsstückes ef von Federharz eine mit etwas lockerem Asbest und Schwefelsäure gefüllte Röhre ed befestigt, so dafs diese Säure, als vorzüglichstes Mittel zur Absorption des Wasserdampfes[2], die in der durchströmenden Luft enthaltene Feuchtigkeit aufnimmt. Eine Wägung der Röhre vorher und nachher giebt die Menge der in der durchströmenden Luft enthaltenen Feuchtigkeit und bei dem bekannten Gewichte des gemessenen Luftvolumens, welches in den Behälter A gedrungen ist, die Dichtigkeit desselben. Die mit Asbest versehene Glasröhre wird am zweckmäfsigsten 11 Zoll lang und 3,5 bis 4 Lin. weit gewählt; von dem Asbeste wird so viel genommen, als hinreicht, sich überall an die Wandungen anzulegen, ohne der durchströmenden Luft zu grofse Hindernisse in den Weg zu legen; er wird trocken in die Röhre gebracht, mit etwa 50 bis 60 Tropfen Schwefelsäure, die man in das eine Ende der fast senkrecht gehaltenen Röhre giefst und hinab-

Fig. 82.

1 Poggendorff's Ann. XX. 274.

2 Wohl nicht mit Unrecht zieht Brunner diese Säure dem salzsauren Kalke vor.

fliefsen läfst, befeuchtet, und wenn er sich zu sehr zusammenballt, mit einem Messingdrahte wieder aufgelockert. In der Nähe der Enden ist die Röhre etwas bauchig aufgetrieben, damit die ablaufende Säure, wenn ihre Menge etwas zu grofs ist, sich daselbst ansammelt. Zugleich ist nicht zu übersehn, dafs die Röhre, vor und nach dem Versuche, mit guten Stöpseln (am besten aus einem aus Leinölfirnifs und Mennig oder Bleiweifs verfertigten Kitte) verschlossen, genau gewogen werden müsse. Mit diesem Apparate stellte Brunner auch einen Versuch an, um die Dichtigkeit des mit Luft gemengten Wasserdampfes im Zustande der Sättigung zu messen. Es gaben 12972,5 Kubikcentimeter Luft bei 26,4 Zoll Barometerstand und 9°,5 R. Temperatur eine Gewichtszunahme von 0,121 Gramm; nach Peclet's Tabelle[1], welcher die Bestimmung von Gay-Lussac zum Grunde liegt, giebt eine gleiche Menge Luft $12972{,}5 \times 0{,}00000946 = 0{,}122$ Gramm Wasserdampf, und hiernach ist also das durch Brunner gefundene Verhältnifs der Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft $= 10 : 16{,}132$.

552) Schmeddink[2] erinnert hiergegen, es werde bei diesem Verfahren vorausgesetzt, die ausgetrocknete Luft nehme über dem Wasser im Gasometer ihren anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt wieder an, was gewifs nicht genau richtig ist; denn operirt man mit Luft von mittlerer, ohnehin unbestimmter Feuchtigkeit, so kann sie im Gasometer leicht einen gröfseren Dampfgehalt annehmen, werden die Versuche dagegen mit gesättigt feuchter Luft angestellt, so wird diese nach dem Austrocknen nicht so schnell wieder in den Zustand der Sättigung übergehn; im ersten Falle wird ihr Volumen vermehrt, im letzteren verringert werden, und in beiden Fällen ist keine genaue Correction möglich. Ein zweiter Einwurf betrifft die Unbestimmtheit der Temperatur; allein dieser ist wohl nicht als gültig zu betrachten, da die Versuche auf jeden Fall in einem geräumigen, während ihrer nicht langen Dauer keiner mefsbaren, insbesondere die grofse Menge Wasser afficirenden Aenderung der Temperatur ausgesetzten Locale angestellt werden müssen. Schmeddink liefs daher die Luft zuerst durch Fig. 83.

1 Dessen Traité de Physique. 2me éd. T. I. p. 494.

2 Dissertatio de densitate vaporum. Berol. 1832. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XXVII. 40.

eine mit nasser Baumwolle gefüllte Glasröhre a, dann durch eine mit feuchter Watte gefüllte Flasche a' treten, worin sich ein Thermometer zum Messen der Temperatur befand; von hier gelangte sie in zwei mit Schwefelsäure versehene Röhren s, s, von hier durch ein enges, am Ende herabgebogenes Rohr abermals in eine weitere, mit feuchter Wolle gefüllte Glasröhre a'' in das Gasometer A, aus welchem das zum Messen dienende Wasser in eine Flasche abflofs, deren Kubikinhalt genau bestimmt war. Die Zwischenröhre mit Chlorcalcium zur Sicherung gegen den aus dem Wassergefäfse eindringenden Dampf fand Schmeddink überflüssig, weil die Länge und der geringe Durchmesser der Röhre, die zu der mit nasser Watte gefüllten führte, gegen dieses Eindringen vollkommen sicherte, insbesondere wenn die Strömung der Luft etwas rasch war. Aufserdem zog er vor, die Austrocknungsröhren statt mit Asbest mit Gyps zu füllen, weil dieser doppelt so viel Schwefelsäure in sich aufnimmt; auch fand er nöthig, aus Watte einen Streifen zu schneiden, diesen aufzulockern, wie einen Papierstreifen zusammengerollt in die Röhre zu bringen und im siedenden Wasser gehörig zu befeuchten, weil kaltes den Fasern nicht genugsam adhärirt. Anfangs nahm die eine Röhre mit Schwefelsäure alle Feuchtigkeit auf, später aber auch die zweite einen Theil, und wenn dieser gröfser wurde, als 0,01 Gramm, so bedurfte es einer neuen Röhre[1]. Der Inhalt der Flasche endlich betrug fast 18,5 Liter bei 16° R. und jeder Versuch dauerte 12 bis 59 Minuten. Im Mittel aus 47 Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur = 0,63, welcher Werth, wenn wir den von Gay-Lussac gefundenen = 0,625 oder $\frac{10}{16}$ nehmen, von demselben unbedeutend abweicht und das Verhältnifs 10 : 15,873 giebt. Eine zweite Reihe von Versuchen, wobei die mit nasser Watte gefüllte Röhre in einem kupfernen Wassergefäfse erwärmt wurde, um die Dichtigkeit des Wasserdampfes auch bei höheren Wärmegraden zu ermitteln, gab zu wenig genaue Resultate, was sich aus der Schwierigkeit einer scharfen Temperaturbestimmung allzuleicht erklären läfst.

1 Dafs in einigen Fällen das Gewicht der zweiten Röhre geringer wurde, ist eine schwer oder gar nicht zu erklärende Erscheinung.

552) Nach den hier mitgetheilten Resultaten der neueren Versuche gewinnt die bereits früher aufgestellte Bestimmung, wonach die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke im Verhältnifs von 10 zu 16 stehe, einen überwiegenden Grad von Wahrscheinlichkeit. Sofern sich aber erwarten läfst, dafs diese Bestimmung durch neue Versuche nicht leicht eine wesentliche Abänderung erleiden werde, stelle ich hier die wichtigsten Puncte nochmals zusammen, um so mehr, als die Resultate meiner eigenen Versuche wegen zu ausführlicher Darstellung minder leicht zu übersehn sind.

1. Die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist bei gleichen Temperaturen sowohl im luftleeren, als auch im lufterfüllten Raume, mindestens bis zum atmosphärischen Drucke, stets gleich, vorausgesetzt, dafs vom Dampfe im Maximum seiner Dichtigkeit die Rede ist. Dieses geht direct aus den Messungen von Gay-Lussac und den meinigen hervor, aus den letzteren namentlich, indem alles Wasser, welches in dem von mir gebrauchten Ballon bei einer gewissen Temperatur in Dampf verwandelt wurde, diese seine Expansion bei unveränderter Wärme beibehielt, wenn ich trockne Luft in gröfserer oder geringerer Quantität hinzutreten liefs. Wenn es bei diesen Versuchen den Anschein gewährte, als ob im lufterfüllten Raume eine gröfsere Dichtigkeit statt fände, weil der Niederschlag eines Theiles des expandirten Wassers im lufterfüllten Raume erst bei etwas niedrigerer Temperatur erfolgte, als im luftleeren, so hat dieses zwar die Analogie anderer Erscheinungen für sich, allein die Versuche können hierbei leicht täuschen, insofern der Dampf im luftleeren Raume ungleich beweglicher ist, daher an den Glaswandungen leichter und schneller zum Vorschein kommt, als im lufterfüllten. Der Satz selbst geht indirect aus den Versuchen von Brunner und Schmeddink hervor, denn die von ihnen gefundenen Dichtigkeiten des gemischten Dampfes stimmen so genau mit den für ungemischten erhaltenen überein, dafs hierin ein sehr gewichtiges Argument enthalten ist.

2. Sobald dieser Satz einmal festgestellt worden ist, fallen die Hauptschwierigkeiten, die den genauen Bestimmungen der absoluten Dichtigkeit des Wasserdampfes im Wege stehn, von selbst weg, und die durch Brunner gewählte Methode, wie

sie durch Schmeddink verbessert worden ist, verspricht die genauesten Resultate. Bei allen Fundamentalversuchen kam es blofs auf eine genaue Messung der Temperatur und des Raumes an, welchen der gesättigte Wasserdampf einnahm, wie nicht minder auf eine scharfe Wägung der Wassermenge, welche denselben gab. Eben wegen dieser Einfachheit der Messungen stimmen auch die erhaltenen Resultate so genau mit einander überein, als sich bei der Verschiedenheit der befolgten Methoden nur erwarten läfst. Handelt es sich aber um eine endliche scharfe Bestimmung der eigentlichen Dichtigkeit des Wasserdampfes, so dürfte die durch Schmeddink gefundene wohl den Vorzug haben; sie ist aus einer grofsen Zahl von Messungen bei mittleren Temperaturen entnommen und liegt nahe in der Mitte zwischen der durch Gay-Lussac und der durch mich selbst erhaltenen, etwas näher an der ersteren. Es läfst sich aber leicht erklären, warum Gay-Lussac die Dichtigkeit etwas zu klein fand, denn abgerechnet, dafs ein geringer Theil Feuchtigkeit bei seinen Versuchen dem Quecksilber adhäriren konnte, bleibt es fraglich, ob der Dampf in der Röhre nach dem, was hierüber oben (§. 518) beigebracht worden ist, wirklich die Siedehitze erreichte, und ebenso konnte ich selbst leicht in den Messungen bei tieferen Temperaturen, namentlich bei denen unter dem Gefrierpuncte des Wassers, die Dichtigkeit zu grofs finden, weil der dann absolut sehr dünne Dampf sich minder leicht an den Wandungen niederschlägt und dem Auge wahrnehmbar wird; die von mir aus diesen Versuchen allein abgeleitete Folgerung, dafs die Dichtigkeit des Dampfes im Verhältnifs zur Luft mit den Temperaturen abnehme, mag wohl hierauf beruhn und ist vorläufig, bis zu näherer Bestätigung, aufzugeben. Sofern aber das aus allen Versuchen Schmeddink's bei mittleren Temperaturen erhaltene mittlere Resultat von den früheren so wenig abweicht, kann immerhin wegen der Bequemlichkeit der Berechnung das bisher angenommene Verhältnifs von 10 : 16 beibehalten werden.

3. Handelt es sich um eine allgemeine Formel zur Berechnung der Dichtigkeit des Wasserdampfes, so kommt hierbei die Elasticität desselben und der Ausdehnungscoefficient der Luft in Betrachtung. Nach den damals bekannten Bestimmungen dieser Gröfsen habe ich eine Tabelle berechnet, welche die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Wasser im Maximum

seiner Dichtigkeit und auch gegen Luft bei 0° Temperatur und unter einem Drucke von 336 Lin. Quecksilber enthält; sie genügt, um die gesuchten Gröfsen mit genäherter Genauigkeit zu finden. Schitko[1] hat gleichfalls eine Tabelle berechnet, welcher jener sehr genäherte Werthe giebt. Neuerdings hat Pambour[2] eine Formel zur Berechnung des Volumens des Wasserdampfes als Function der Temperatur und der Elasticität desselben angegeben, wonach für p = dem Drucke auf ein Quadratcentimeter in Kilogrammen und t = der Temperatur in Centesimalgraden das Volumen des Dampfes

$$m = 1287 \times \frac{1 + 0{,}00364\,t}{p}$$

seyn soll. In dieser findet sich, wie Poggendorff bemerkt, der durch Rudberg aufgefundene Ausdehnungscoefficient der trocknen Luft ohne weitere Bemerkung eingeführt.

553) Ueber die Dichtigkeiten der Dämpfe sonstiger Flüssigkeiten, denen wir auch andere flüchtige Körper zugesellen können, sind noch einige sehr wichtige Zusätze hinzuzufügen, wobei es angemessen ist, auf dasjenige zurückzublicken, was im Art. *Dampf* bereits mitgetheilt wurde. Ueber die Dichtigkeit des *Schwefelkohlenstoffdampfes* stellte Cluzel[3] sogleich damals, als er diese neu entdeckte Flüssigkeit untersuchte, einen Versuch an, und fand, dafs ein Ballon mit Luft bei 18° C. Wärme und 0,7638 Met. Barometerstand gewogen 6,75 Gramm wog, wenn er 5565,095 Kubikcentimeter Luft enthielt; war aber Schwefelkohlenstoffdampf damit vereint, so betrug das Gewicht 7,798 Gramm. Hieraus läfst sich indefs das Gewicht des Kohlenstoffdampfes nicht entnehmen, weil nach dem Eintritt desselben zwar der Ballon mit diesem ganz erfüllt war, aber von der früher darin befindlichen Luft, wenn diese entweichen konnte, fehlte so viel, als der Elasticität des Dampfes gegen die der Luft zukam. Marx[4] versuchte gleichfalls den Dampf des Schwefelkohlenstoffs zu wägen und bediente sich dazu einer dünnen Kugel mit einer Spitze, die er zuerst voll

1 Wiener Zeitschrift. Th. VI. S. 259.
2 Compt. rend. T. VI. p. 874. Poggendorff's Ann. XLIV. 628.
3 Ann. de Chim. T. LXXXIV. p. 72. G. XLIII. 421.
4 Schweigger's Journ. LXII. 488.

Luft, dann mit Schwefelkohlenstoffdampf gefüllt, wog, indem er diese Flüssigkeit darin zum Sieden brachte und die Spitze verstopfte, nachdem keine tropfbare Flüssigkeit mehr darin enthalten war, endlich aber die Spitze wieder öffnete, Luft eindringen liefs und abermals das Gewicht bestimmte. Heifst dann das Gewicht der Kugel A, der Luft L, des Dampfes D, so war das Gewicht zuerst = A + L, hernach = A + D und zuletzt sollte es = A + D + L seyn, allein er konnte auf diese Weise keine übereinstimmenden Resultate erlangen[1], wenn er die erste Gröfse von der letzteren abzog, wie sehr begreiflich daraus hervorgeht, dafs im dritten Falle so viel Luft weniger in der Kugel vorhanden war, als die Elasticität des bei der gegebenen Temperatur darin vorhandenen Dampfes austrieb. Um daher die Dichtigkeit dieses Dampfes zu finden, legt er die Bestimmung von Gay-Lussac zum Grunde, wonach der Schwefelkohlenstoffdampf bei seiner Siedehitze eine Dichtigkeit von 2,645 gegen atmosphärische Luft haben soll. Ist dann das spec. Gewicht der Luft bei 0° und 28 Zoll Barometerhöhe[2] gegen Wasser im Maximum seiner Dichtigkeit = 0,00128308 : 1, so wird dieses bei 37°,5 R. als dem Siedepunct des Schwefelkohlenstoffs = 0,00128308 × 0,85423 : 1, und hieraus folgt die Dichtigkeit des Schwefelkohlenstoffdampfes bei der Siedehitze gegen die des Wassers = 0,0028987 : 1. Nach der Mayer'schen Formel ist die Dichtigkeit eines Dampfes δ für eine gegebene Temperatur t in Graden der 80theiligen Scale, wenn seine Spannung e heifst:

$$\delta = A \frac{e}{213 + t},$$

worin A ein aus den Beobachtungen zu entnehmender Coefficient ist. Marx fand den Siedepunct bei 37°,5 R., wenn die Elasticität einem Drucke von 333,786 Par. Lin. gleich kam, und wenn diese Werthe zugleich mit der durch Gay-Lussac gefundenen Dichtigkeit in die Formel substituirt werden, so erhält man

$$0{,}0028987 = A \cdot \frac{333{,}786}{250{,}5},$$

1 Vergl. das von Dumas angewandte Verfahren §. 555.

2 Gay-Lussac legt bei seinen Bestimmungen eine Barometerhöhe von 0,76 Meter, also 28 Z. 0,9 Lin. zum Grunde, was aber hierbei von keinem merklichen Einflufs ist.

woraus der Werth von A = 0,0021748 gefunden wird. Hiernach heifst also die Formel für δ, die Dichtigkeit des Schwefelkohlenstoffdampfes gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit,

$$\delta = 0,0021748 \frac{e}{213 + t}.$$

Mit Hülfe dieser Formel hat Marx eine Tabelle der Dichtigkeiten von — 7° bis + 47° R. berechnet; es ist aber sehr die Frage, ob Gay-Lussac's einzige Beobachtung sicher genug ist, um diesen allgemeinen Ausdruck darauf zu gründen; doch können wir uns bis zu weiteren Bestimmungen damit begnügen.

Ehe wir zu einer vorzüglich wichtigen Classe von Untersuchungen über die Dichtigkeiten der Dämpfe übergehn, wollen wir zuvor eine mehr isolirte, zugleich aber sehr interessante, den *Quecksilberdampf* betreffende Notiz erwähnen. Unter der Voraussetzung, dafs die Ausdehnung aller Gase und Dämpfe durch die Wärme sich gleich ist, kann die Dichtigkeit für gegebene Temperaturen leicht gefunden werden, wenn sie nur für eine bekannt ist und man das Gesetz der Elasticität kennt. Letzteres ist für *Quecksilber* durch Avogadro (§. 549) aufgefunden worden, und indem er dann nach Dumas[1] die Dichtigkeit des Dampfes dieser Flüssigkeit beim Siedepuncte gegen atmosphärische Luft als Einheit = 7 setzt, findet er für 100° C., welcher Temperatur nach der berechneten Tafel eine Elasticität von 0,03 Millim. zugehört, = 0,0002, und in diesem Verhältnifs könnte daher auch bei dieser Temperatur Quecksilberdampf in der atmosphärischen Luft enthalten seyn. Weil aber ein Liter oder ein Kubikdecimeter Luft unter diesen Umständen 1,3 Gramm wiegt, so würde in dem Raume eines Kubikdecimeters 0,00026 Gramm oder etwa ein Viertel Milligramm Quecksilberdampf enthalten seyn, eine allerdings kaum mefsbare Gröfse.

554) Das Bestreben, die Atomgewichte der Körper genauer zu bestimmen, veranlafste eine schätzbare Reihe von Versuchen, deren eigentliche Resultate zwar aufser den Grenzen der hier zunächst zu untersuchenden Aufgabe liegen, die aber zugleich über die Dichtigkeit verschiedener Dämpfe sehr genäherte Bestimmungen enthalten, und obendrein dem ganzen Probleme

1 Vergl. §. 556, 2.

eben dadurch einen mehr wissenschaftlichen Charakter geben, dafs sie die Dichtigkeit der Dämpfe mit ihren Atomgewichten in Verbindung bringen. Da das Ganze zunächst in das Gebiet der Chemie gehört, so theile ich diejenige kurze Darstellung mit, welche Poggendorff[1] davon gegeben hat. Da sich die Atomgewichte der Körper ohne eine wesentliche Abänderung der Resultate gegen ihre Multipla oder Submultipla vertauschen lassen, jenachdem man in den binären Verbindungen dieser Körper eine gröfsere oder geringere Anzahl von Atomen des andern Körpers voraussetzt, so entsteht hieraus eine gewisse Willkür. Um diese zu beseitigen, ging Dumas von dem Grundsatz aus, dafs alle Körper sich in einfachen Volumenverhältnissen verbinden und dafs das specifische Gewicht ihrer Dämpfe, welches dem einfachsten dieser Verhältnisse entspricht, das wahre Atomgewicht dieser Körper sey. Bei Körpern, die für sich nicht wohl so verdampfbar sind, dafs man die Dichtigkeit ihrer Dämpfe zu messen vermöchte, bestimmt man die Dichtigkeit der Dämpfe ihrer Verbindungen mit einem für sich gasförmigen Körper von bekannter Dichte. Hierdurch und durch das Atomgewicht des für sich starren Bestandtheils findet man das Volumenverhältnifs, in welchem sich dieser mit dem Gase verbindet. Fällt das Volumenverhältnifs mit dem angenommenen Atomgewichte nicht einfach genug aus, so nimmt man ein Multiplum oder Submultiplum dieses Gewichts, und dasjenige, welches das einfachste Volumenverhältnifs liefert, ist dann als das wahre Atomgewicht zu betrachten. Hiernach fallen die Atomgewichte der elementaren Körper insgesammt mit den Dichtigkeiten oder specifischen Gewichten ihrer Dämpfe zusammen.

555) Dumas[2] war der Erste, welcher von diesen Grundsätzen ausgehend die Dichtigkeit verschiedener Dämpfe zu bestimmen suchte. Stellen wir das von ihm angewandte Verfahren im Allgemeinen dar, und ohne uns streng an die von ihm gewählten speciellen Modificationen zu binden, die mehr von der Willkür jedes einzelnen Experimentators abhängen, so
Fig. 84. brachte er die zu untersuchenden Körper in eine Glaskugel A.

1 Dessen Annalen. Th. IX. S. 293.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIII. p. 337. Poggendorff's Ann. IX. 293.

die mit einer aus ihr auslaufenden feinen Spitze *a* versehn war. Um diese Kugel so weit zu erhitzen, daſs die darin befindlichen Körper in Dampf verwandelt wurden, welcher dann die Kugel ganz ausfüllte, indem der Rest aus der Spitze entwich, band er sie mittelst Platindrähten an eine Bleimasse p, senkte sie dann in ein Bad von Wasser, wenn die Temperatur des Siedepunctes der darin enthaltenen Flüssigkeit unter der des siedenden Wassers lag, im entgegengesetzten Falle aber von Schwefelsäure oder leichtflüssigem Metalle. Die Schwefelsäure eignet sich hierzu bei weitem am besten und ist namentlich dem Oele entschieden vorzuziehn, welches sich schwärzt, verdickt, durch seine Dämpfe unangenehm afficirt und obendrein die Apparate widerlich beschmuzt[1]. Das Glasgefäſs mit dem flüssigen Bade steht dann wieder in einem Sandbade und dieses wird auf eine leicht zu bewerkstelligende Weise erhitzt. Man könnte die sämmtlichen Theile der ganzen Vorrichtung von Substanzen verfertigen, welche unschmelzbarer und dem Zerspringen nicht so leicht ausgesetzt sind, als Glas; weil man aber sehn muſs, ob die gesammte Menge des zu untersuchenden Körpers wirklich verdampft ist, so muſs der zum Messen dienende Ballon nothwendig von Glas seyn, und die anzuwendende Hitze darf daher nicht über diejenige hinausgehn, wobei dieses weich wird. Reicht man aber mit einem Quecksilberthermometer nicht mehr aus, so bedient man sich eines

1 Ein solches Bad ist erforderlich, um die Temperatur, die der Verwandlung im Dampf zugehört, genau zu messen. Da aber dasselbe beschwerlich, die Vorrichtung übrigens zweckmäſsig ist, so fragt sich, ob nicht auch ohne ein solches Bad die Temperatur des Ballons, wenn er im bedeckten Gefäſse frei herabhinge, durch zwei oder mehr neben ihm aufgehängte Thermometer genügend bestimmt werden könnte, vorausgesetzt, daſs man die langsam steigende Hitze hinlänglich zu reguliren vermöchte. Fraglich bleibt ferner, ob sich die Temperatur der Verdampfung nicht aus den Dämpfen selbst, wie dieses beim Wasser geschieht, entnehmen lieſse. Die thermomagnetischen Thermometer, s. Bd. IX. S. 998, wenn nur genau genug bestimmt, erlauben die Löthstelle eines feinen Platin- und Kupferdrahtes in den Ballon selbst hinabzusenken. Sehr zweckmäſsig ist endlich Mitscherlich's Luftthermometer §. 557, so lange die Temperatur nicht über diejenige Hitze hinausgeht, wobei das Glas weich wird; für höhere müſsten Platingefäſse und Pyrometer angewandt werden. S. *Thermometer*. Bd. IX. S. 1014. Die vollständige Verdampfung könnte dann da angenommen werden, wo kein Dampf mehr entweicht.

Luftthermometers. Wesentliche Beachtung verdient das Hülfsmittel, die Spitze der Kugel, da wo sie aus der Oeffnung in einem hierzu angebrachten Metallbleche hervorragt, mit einigen glühenden Kohlen α, β zu umgeben, damit sich die Dämpfe in dieser Spitze nicht niederschlagen und dadurch Fehler herbeiführen. Sind die letzten Antheile der zu untersuchenden Substanz völlig verdampft, indem zuerst ein dichterer, nachher aber ein stets dünner werdender Dunst aus der Spitze entweicht, so wird die Spitze zugeblasen, der Apparat muſs langsam erkalten, und dann wird die Dichtigkeit des Dampfes durch Wägung bestimmt.

Die hierbei zu beobachtende Verfahrungsart beruht auf einfachen Principien. Die zugeschmolzene, mit dem Dampfe und einer unbestimmten Menge etwa zurückgebliebener Luft erfüllte Kugel wird nach dem Reinigen von allen anhängenden Substanzen gewogen und dann nach dem Abbrechen der Spitze unter Wasser oder Quecksilber geöffnet, um nach dem Eindringen dieser Flüssigkeit den noch vorhandenen Antheil Luft zu ermitteln. Demnächst wird der Ballon inwendig gereinigt, getrocknet, mit völlig trockner Luft gefüllt und abermals gewogen. Aus beiden Wägungen und einer vorausgegangenen oder nachher angestellten Wägung desselben, wenn er mit Wasser gefüllt war, findet man die gesuchten Gröſsen. Heiſst nämlich das Gewicht des mit Wasser gefüllten Ballons $= P$, des mit trockner Luft gefüllten $= p$, des mit Dampf und der wenigen zurückbleibenden Luft gefüllten $= p'$, so giebt $P - p + (P - p)\delta$, wenn δ das Verhältniſs zwischen der Dichtigkeit des Wassers und der Luft bezeichnet, den Rauminhalt des Ballons mit hinlänglicher Genauigkeit. Hieraus findet man durch Berechnung das Gewicht der Luft, welche ihn ausfüllt, $= p''$, und erhält dann aus $p' + p'' - p$ das Gewicht des Gemenges von Dampf und Luft, welches in demselben enthalten war. Hierbei muſs man die Ausdehnung des Ballons durch Wärme corrigiren, dann aber die Dichtigkeit des Wassers nach der bei der Wägung statt findenden Temperatur auf das Maximum seiner Dichtigkeit, und ebenso die der Luft nach dem jedesmaligen Barometerstande und der Temperatur auf 0,76 Meter und 0° Wärme reduciren, worauf dann nur noch erfordert wird, das corrigirte Volumen der zurückgebliebenen Luft und dessen Gewicht von dem Gewichte des Dampfes abzuziehn, um letzteres für sich zu haben,

was dann bei bekanntem Rauminhalte die Dichtigkeit dieses Dampfes giebt[1].

556) Bei den folgenden Angaben beschränken wir uns der Kürze halber zunächst nur auf die gefundenen Dichtigkeiten, ohne die daraus abgeleiteten Atomgewichte zu berücksichtigen; doch liefern die Versuche noch manche anderweitige interessante Thatsachen, die eine gelegentliche Erwähnung verdienen.

1. *Iod* fing bei 175° C. an, Dämpfe zu bilden, welche die Spitze zu verstopfen drohten. Letztere wurde daher mit Kohlen erwärmt und die Hitze bis 185° C. gesteigert. Anfangs war der Ioddampf violett, nachher aber wurde seine Farbe so intensiv, dafs man durch den Ballon weder das Tagslicht, noch auch eine Kerzenflamme sehn konnte; an den Rändern war die Farbe blau, im Widerscheine aber zeigte er sich völlig schwarz. Aus den Wägungen ergab sich seine Dichtigkeit = 8,716, von der Bestimmung durch Gay-Lussac[2] = 8,61 wenig abweichend.

2. Das Verhalten des *Quecksilbers* bei diesem Versuche ist an sich schon interessant. Es wurden 40 Gramm dieses gereinigten Metalls in den Ballon gebracht, und ungeachtet der langsamen Erhitzung fuhr dennoch der Dampf beim Siedepuncte desselben mit solcher Heftigkeit aus dem Röhrchen, dafs eine Explosion zu fürchten stand. Nach einer halben Stunde aber hörte die Dampfentwickelung fast plötzlich auf, und als nach einiger Zeit bei verstärktem Feuer und einer weit über den Siedepunct getriebenen Erhitzung kein Dampf mehr herausfuhr, wurde die Spitze zugeblasen. Bei den nachherigen Wägungen zeigte sich eine so kleine zurückgebliebene Luftblase, dafs sie nicht mefsbar war, und zudem konnte sie aus dem Wasser entstanden seyn; man kann also durch Quecksilberdämpfe gleichfalls einen luftleeren Raum bereiten. Die Dichtigkeit des Dampfes ergab sich = 6,976.

Die Dichtigkeiten der übrigen, aus ihren Verbindungen

---

1 Eine ausführliche Anleitung, die Resultate solcher Wägungen zu berechnen, zugleich mit Rücksicht auf die hierbei erforderlichen Correctionen, nebst Tabellen, worin diese letzteren für die verschiedenen Temperaturen und die ungleichen Barometerstände enthalten sind, giebt Poggendorff in seinen Annalen XLI. 449.

2 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 397.

gefundenen Dämpfe sind: *Phosphor*[1] im Mittel aus zwei Versuchen = 2,328; *Chlorphosphor* im Minimum = 4,875; *Arsenikwasserstoff* = 2,695; *Chlorarsenik* im Minimum = 6,3006; *Chlorsilicium* = 5,939; *Fluorsilicium* = 3,6; *Chlorboron* = 3,942; *Fluorboron* = 2,3124; *Chlorzinn* im Maximum = 9,1997; *Chlortitan* = 6,836.

557) Die von Dumas betretene Bahn verfolgte Mitscherlich[2] mit gewohntem Eifer und bekannter Genauigkeit und gelangte dadurch theils zu einer Prüfung bereits gefundener, theils zur Auffindung neuer Bestimmungen. Die wesentlichen Abänderungen der gebrauchten Apparate lassen sich leicht deutlich machen. Für die höchsten Hitzegrade wählte er statt eines Ballons längliche, an beiden Seiten fein ausgezogene Glasröhren, in welche er die zu untersuchenden Körper brachte, und bediente sich seines bereits beschriebenen Luftthermometers[3]. Beide legte er neben einander auf kupferne Haken (Fig. 85.) α, α, α, α in einem metallenen Cylinder, welcher am einen Ende verschlossen, am andern mit Löchern $\gamma\gamma$ versehn war, durch welche die Spitzen des Meſsröhrchens und des Luftthermometers hervorragten. Dieser Cylinder ab, ab wurde in einen etwas weiteren geschoben, welcher nach innen und nach auſsen mit einigen hervorragenden Stäben versehn war, um eine Berührung desselben mit dem inneren und einem dritten äuſsersten zu hindern. Letzterer AA, BB war ein eiserner, von zolldicken Wandungen; er wurde in einen Ofen gelegt und die Hitze so regulirt, daſs derselbe überall möglichst gleichmäſsig roth glühte. Hiernach läſst sich mit Sicherheit annehmen, daſs sowohl das Luftthermometer, als auch die Meſsröhre einer durchaus gleichmäſsigen Wärme ausgesetzt waren, und somit lieſs sich die Hauptbedingung einer scharfen Temperaturbestimmung vollständig erreichen. Für Temperaturen unter 300° C. läſst sich ein Bad von leichtflüssigem Metall in Anwendung bringen, wenn aber die Wärme 110° C. übersteigt, so ist allgemein ein Bad von Chlorzink bei weitem vorzuziehn, denn dieses bleibt

---

1 Die richtigere Bestimmung wurde später gefunden, s. folgenden §. Anm.

2 Poggendorff's Ann. XXIX. 193. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 1.

3 S. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 837.

lüssig bis zu seiner Verflüchtigung, die erst bei der Rothglüh-
ıitze eintritt; die Temperatur steigt viel langsamer, als beim
Metallbade, und man kann daher die Operation sicherer leiten.
Zur Aufnahme des Bades diente ein gufseisernes Gefäfs A, B, Fig. 86.
16 Zoll lang, 6 Z. breit und 6 Z. tief, unten mit zwei Rin-
gen versehn, die sich durch Charniere öffnen liefsen, um das
Mefsrohr α, α hineinzulegen und festzuhalten. An beiden
Enden hatte das Gefäfs einen Einschnitt; der eine diente dazu,
das Quecksilberthermometer durch ihn so hineinzuschieben, dafs
dessen Kugel t auf der Mefsröhre ruhte, der andere, um die
Spitze f dieser, die zu untersuchende Substanz enthaltenden
Röhre durchzulassen, da diese fein ausgezogene Spitze zuerst
rechtwinklig in die Höhe und dann wieder rechtwinklig hori-
zontal gebogen war, wobei ein unter dem äufsersten Ende an-
gebrachtes Drahtgeflecht γ zur Aufnahme einiger Kohlen diente,
damit sich die Substanzen daselbst nicht niederschlugen. Be-
stand das Bad aus Wasser, Kochsalzauflösung oder einer Lö-
sung von Chlorzink, so befand dieses sich in einem ähnlichen
kupfernen Gefäfse AB, worin die Mefsröhre αα auf gleiche Fig. 87.
Weise durch Ringe festgehalten wurde; die nicht gebogene
Spitze f desselben, so wie die Röhren zweier nach beiden Seiten
herausstehenden Thermometer t, t aber waren mittelst mehrerer
Körke durch Löcher gesteckt, die sich in den Wandungen beider
Enden des Gefäfses befanden. Mitscherlich stellt folgende
gemessene Dichtigkeiten der einfachen sowohl, als auch der
zusammengesetzten Gase und Dämpfe zusammen, und zur Ver-
gleichung zugleich die nach den Atomgewichten berechneten,
nebst der Anzahl der in ihnen enthaltenen Atome, die ich je-
doch weglasse, da sie nicht direct in den Bereich unserer Un-
tersuchungen gehören. Die Dichtigkeiten oder specifischen
Gewichte beziehn sich auf atmosphärische Luft bei 0° C. Tem-
peratur und unter einem Drucke von 0,76 Meter Quecksilber-
höhe.

Substanzen	Dichtigkeiten beobachtet	Dichtigkeiten berechnet	Beobachter
Sauerstoffgas	1,1026	. . . .	Berzelius, Dulong
Wasserstoffgas . . .	0,0688	. . . .	Berzelius, Dulong
Stickgas	0,9760	. . . .	Berzelius, Dulong
Chlor	2,4700	2,4403	Gay-Lussac, Thénard
Brom	5,5400	5,3930	Mitscherlich
Iod	8,7160	8,7011	Dumas
Schwefel	6,5635	6,6541	Dumas[1]
. . . . .	6,9000	. . . .	Mitscherlich
Phosphor	4,4200	4,3256	Dumas[2]
. . . . .	4,5800	. . . .	Mitscherlich
Arsenik	10,6000	10,3654	Mitscherlich
Quecksilber . . .	6,9760	6,9785	Dumas
. . .	7,0300	. . . .	Mitscherlich
Wasserdampf . . .	0,6235	0,6201	Gay-Lussac
Stickstoffoxydul . .	1,5204	1,5273	Colin
Stickstoffoxyd . . .	1,0388	1,0393	Bérard
Salpetrige Salpetersäure	1,7200	1,5906	Mitscherlich
Ammoniak	0,5967	0,5912	Biot, Arago
Chlorwasserstoff . .	1,2474	1,2544	Biot, Arago
Bromwasserstoff . .	2,7311	2,7311	Mitscherlich
Iodwasserstoff . . .	4,4400	4,3850	Gay-Lussac
Schweflige Säure . .	2,2470	2,2116	Berzelius
Schwefelsäure, wasserfrei . . .	3,0000	2,7629	Mitscherlich
Schwefelwasserstoff .	1,9120	1,1778	Gay-Lussac, Thénard
Chlorschwefel . . .	4,7000	4,6580	Dumas
Phosphorwasserstoff .	1,1214	1,1896	Dumas
. . .	1,1455	. . . .	Rose
Chlorphosphor, flüssiger	4,8765	4,7414	Dumas
fester	4,8500	4,7900	Mitscherlich
Arsenige Säure . . .	13,8500	13,3000	Mitscherlich
Arsenikwasserstoff . .	2,6950	2,6945	Dumas
Chlorarsenik . . .	6,3006	6,2518	Dumas
Iodarsenik	16,1000	15,6400	Mitscherlich
Quecksilberchlorüre .	8,3500	8,2000	Mitscherlich
Quecksilberchlorid .	9,8000	9,4200	Mitscherlich

1 Diese Bestimmung ist das Mittel aus vier später angestellten Versuchen. S. Ann. de Chim. et Phys. T. L. p. 178. Poggendorff's Ann. XXVI. 559.

2 Nach Dumas ist das specifische Gewicht des Phosphordampfes bei 500° C. = 4,355, beim Siedepuncte desselben = 4,42. S. Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 210. Poggendorff's Ann. XXV. 396.

Substanzen	Dichtigkeiten beob- achtet	berech- net	Beobachter
)uecksilberbromüre .	10,1400	9,6750	Mitscherlich
)uecksilberbromid .	12,1600	12,3730	Mitscherlich
)uecksilberiodid . .	15,9000	15,6800	Mitscherlich
chwefelquecksilber .	5,5100	5,3900	Mitscherlich
elenige Säure . .	4,0300	. . . .	Mitscherlich
ntimonchlorüre . .	7,8000	. . . .	Mitscherlich

558) Diesen Bestimmungen lassen sich noch einige hinufügen, die später gefunden wurden und hier nur kurz erwähnt verden mögen. Amand Bineau[1] fand die Dichtigkeiten der achfolgenden Dämpfe:

Salpetersäure mit 4 Atomen Wasser	1,27
Ameisensäurehydrat . . . . ungefähr	1,59
Salzsäurehydrat	0,69
Hydroselensäure	2,79
Hydrotellursäure	4,49
Festes Chlorcyan	6,39
Bromcyan	3,61
Chromsaures – dreifach – Chlorbrom	5,52
Hydriodsaurer Phosphorwasserstoff	2,77
Hydrobromsaurer Phosphorwasserstoff	1,92
Salzsaurer Phosphorwasserstoff	1,22
Wasserfreies kohlensaures Ammonium	0,90
Wasserfreies hydrothionsaures Ammonium	0,88
Wasserfreies hydrotellursaures Ammonium	1,32
Wasserfreies blausaures Ammonium . . . ungefähr	0,77
Wasserfreies salzsaures Ammonium	0,89

uch diese Bestimmungen beziehn sich auf die Luft bei 0° C. nd unter einem Drucke von 0,76 Meter Quecksilberhöhe und ollen mit den Atomgewichten sehr nahe übereinstimmen.

d) Anwendung des Dampfes.

559) Man macht von den Dämpfen, namentlich den Waserdämpfen, einen sehr wesentlichen Gebrauch, indem sie zu-

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXVIII. p. 416.

erst als bewegendes Mittel, dann zur Auflösung der Körper und endlich zum Heizen und Erwärmen verwandt werden. Als bewegendes Mittel werden sie vorzugsweise bei den Dampfmaschinen verwandt, schwerlich dürften sie aber jemals zu Wurfgeschützen gebraucht werden.

Von den *Dampfmaschinen* ist in einem eigenen Artikel[1] ausführlich gehandelt worden, und es würde nicht geringen Raum erfordern, wollten wir hier alles dasjenige nachtragen, was seitdem verändert und verbessert, hauptsächlich aber als Verbesserung in Vorschlag gebracht worden ist. Inzwischen sind die physikalischen Principien, worauf diese merkwürdigen Apparate beruhn, und die verschiedenen Arten ihrer Construction dort angegeben worden, die zahlreichen Verbesserungen aber beziehn sich mehr auf das Technische, und in dieser Beziehung kann man wohl sagen, daſs der specielle Theil der Physik, den die Lehre von der Anwendung des Dampfes bildet, sich wegen seines Umfanges emancipirt und zu einem selbstständigen ausführlichen Ganzen ausgebildet habe. Vergleicht man die ersten rohen Versuche mit dem, was die Dampfmaschinen bei der Abfassung jenes Artikels geworden waren, so ist der Unterschied unermeſslich, und seitdem ist die Kunst mit noch ungleich rascheren Schritten weiter geeilt. Nach John Taylor[2] gaben unter andern gleiche Mengen Kohlen im Jahre 1828 einen 17mal so groſsen Nutzeffect, als bei den ersten Dampfmaschinen, und wenn gleich die Verbesserungen der neuesten Zeit nicht in gleichem Verhältniſs wachsen konnten, so sind sie doch im Ganzen wegen der ausnehmend gestiegenen Kunstfertigkeit nicht unbedeutend. Um solche Verbesserungen aufzufinden, dienen vorzüglich die Register, die über die Leistungen der zahlreichen Dampfmaschinen in den Kohlenminen von Cornwallis geführt werden, woraus sich unter andern ergab[3], daſs die stärkste unter 59 Maschinen mit einem Bushel oder 84 Pfund Steinkohlen 44497342 Pfund Wasser in 38 Min. 20 Sec. 1 Fuſs

1 S. Art. *Dampfmaschine*. Bd. II. S. 417.

2 Records of Mining. 1828.

3 S. Karsten's Archiv. Th. XVIII. S. 111. Vorzüglich Henwood in Edinburgh Journ. of Science N. XIX. p. 84. XX. p. 215. N. Ser. N. I. p. 65. III. p. 102. IV. p. 247. V. p. 46. VI. p. 207. Vergl. Davies Gilbert über die allmälig gemachten Verbesserungen der Dampfmaschinen zu Cornwallis in Philos. Trans. 1830. p. 121.

ıoch, die schlechteste mit derselben Menge Brennmaterial 17196710 Pfund in 40 Min. 20 Sec. 1 Fuſs hoch hob. Zu- ;leich aber liegt es in der Natur der Sache, daſs sehr viele /orschläge zur Verbesserung ebenso wichtiger, als allgemein ;angbarer Maschinen gemacht werden, die nicht allezeit das eisten, was sie versprechen, und deren allseitige Prüfung hier u weit führen würde. Wir müssen uns daher auf einzelne lemerkungen beschränken, in Beziehung auf das Ganze aber uf diejenigen Werke verweisen, worin der Gegenstand er- chöpfend behandelt worden ist[1].

Wäre einer hierüber mitgetheilten Angabe Vertrauen zu chenken, so würde die Erfindung der Dampfmaschinen selbst och über die Zeit des Mathesius[2] hinausgehen, denn hier- ach soll die Dampfmaschine schon im Jahre 1543 durch

---

1 Unter die vorzüglichsten gehört: J. Farey Treatise on the team-Engine. Lond. 1828. 4. The Steam-Engine, theoretically ıd practically displayed. By George Birkbeck and Henry and James dcock, Civil Engeneers. Lond. 1827. 4. Mit Kupfern. Als einzelne erthvolle Abhandlungen über die Dampfmaschinen im Ganzen kön- en ferner genannt werden: Bezaine in Mém. de l'Acad. Imp. de etersb. VIme Sér. T. II. Liv. III. Dufour in Biblioth. Brit. T. XXIV. p. 129, welcher zugleich Tabellen über den Effect der ampfmaschinen nach dem Flächeninhalte des Kolbens und der Span- ıng des Dampfes berechnet hat. Eine gelehrte Abhandlung ist die n Fourier: Mém. sur la puissance mécanique de la vapeur. Par. 327. 4. Eine kurze Darstellung des Princips der Expansionsmaschi- en giebt Perkins in Edinburgh philos. Journ. N. XIII. p. 170. Will an sich über die vielfach abgeänderte Construction der Dampfma- hinen mit rotirender Bewegung unterrichten und sich zugleich einen egriff von der Vielfachheit solcher Abänderungen machen, so giebt erüber John Scott Russell in Edinb. New Phil. Journ. N. XLVII. 35 in einer kurzen, aber inhaltreichen Uebersicht genügende Auskunft. : unterscheidet vier Classen derselben. Die erste ist die, wobei die 'irkung durch Reaction erfolgt, wie bei denen von Heron um 130 Ch., von Branca 1629, von Kircher 1648, von Daslesme 1699, von Kempelen 1785, von James Sadler 1791, von Richard Trevithic 313 und von A. Craig 1834. Zur zweiten Classe gehören diejenigen, i denen ein Zwischenmittel statt findet; zur dritten die, welche ırch hydrostatische Reaction wirken, wozu nur die von Watt 1782 ıd von Bryan Donkin 1803 gehören; zur vierten endlich rechnet er ejenigen, bei denen der Stempel sich dreht. Masterman's Rad ge- ört nach ihm zur zweiten Classe.

2 S. Art. *Dampfmaschine.* Bd. II. p. 419.

Blasco de Garay, einen Spanier, erfunden worden seyn[1]. Nach Documenten im königl. Archive zu Simancas, welche Don Thomas Gonzales auffand und de Navarette dem Baron v. Zach mittheilte, zeigte Garay ein Boot, welches durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde, einer zur Prüfung ernannten Commission und auch dem Kaiser Carl V. selbst. Wie berichtet wird, befand sich darin ein Kessel mit heifsem Wasser, und durch diesen wurden Räder an den Aufsenseiten des Bootes in Bewegung gesetzt. Die Commission bemerkte, es sey gegen diese Erfindung die stete Gefahr zu erinnern, die aus dem Zerspringen des Kessels hervorgehe[2].

560) Diejenigen Dampfmaschinen, welche am häufigsten in Anwendung gebracht werden, sind die von sogenanntem atmo-

---

1 Bullet. univ. N. IV. p. 382.

2 Das Geschichtliche über die Erfindung und Verbesserung der Dampfmaschinen findet man in Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. X. p. 322. Diese Abhandlung polemischen Inhalts von A. Aincer ist gegen eine kurz vorher bekannt gewordene von Arago gerichtet. Letzterer gab im Annuaire pour 1829 eine geschichtliche Uebersicht der Erfindung und allmäligen Verbesserung der Dampfmaschinen, worin er hauptsächlich zu zeigen sich bemühte, dafs die Schriftsteller, namentlich die englischen, allgemein die Erfindung dieser wichtigen Apparate dem Marquis von Worcester beilegten, da doch diese Ehre zwei Franzosen, Salomon de Caus und Dionysius Papinus, gebühre. Dafs der hier den englischen Gelehrten gemachte Vorwurf ungegründet sey, ergiebt sich bald aus der im Art. *Dampfmaschine* Bd. II. S. 417 f. mitgetheilten Literatur. Aincer aber zeigt, dafs de Caus blofs Heron's Maschine beschrieben und gar nicht als seine Erfindung angegeben habe, die Erzeugung eines Vacuums durch Dampf und die Benutzung seiner Elasticität sey aber durch Papinus erst dann vorgeschlagen worden, nachdem Savery's Maschine bekannt geworden war, die Papinus in seiner 1707 herausgegebenen Schrift mehr verstümmelt als verbessert für seine eigene Erfindung ausgegeben habe. Die Schrift, worauf Aincer sich bezieht, ist die im genannten Art. S. 428 angegebene: Papini Ars nova cet. Cass. 1707. Uebrigens finden sich in Aincer's Abhandlung keine historischen Nachweisungen, die nicht schon im genannten Art. dieses Werkes enthalten wären; wie aber Arago die Vorwürfe gegen die englischen Gelehrten veröffentlichen konnte, erscheint unbegreiflich, wenn man die geschichtlichen Nachweisungen würdigt, die in den im genannten Artikel angeführten classischen Werken, namentlich der Engländer enthalten sind, deren Verfasser die Verdienste der Einzelnen unparteiisch würdigen und namentlich auf Worcester's undeutliche Aeufserungen einen sehr geringen Werth legen.

sphärischen Drucke und die Expansionsmaschinen; die älteren Savery'schen, die verschiedenen unmittelbar rotirenden und die mit hohem Drucke scheinen den Erwartungen weniger zu entsprechen und werden allgemein, hauptsächlich aber verhältnifsmäfsig, stets seltener. Colladon und Championnière[1] kennen in Frankreich nur fünf Savery'sche, drei im Departement der Seine, eine im Departement der unteren Loire und eine zu Lyon. Uebrigens sind sie nach ihren Versuchen mit drei solchen Maschinen der Meinung, dafs gerade diese vor den andern wegen ihrer Einfachheit, Sicherheit und des geringeren Verbrauches an Brennmaterial zum Heben des Wassers dann den Vorzug haben, wenn das zu hebende Wasser ohnehin um einige Grade erwärmt werden soll. Maschinen mit hohem Drucke, nach dem Vorschlage von Perkins, haben in England wenig Eingang gefunden; ob sie in America mehr in Gebrauch sind, vermag ich nicht zu bestimmen[2]. Inzwischen hat sich der Erfinder Mühe gegeben, sie zu verbessern und ihre vorzüglichen Eigenschaften hervorzuheben, im Wesentlichen sind sie aber nicht abgeändert worden[3], ihre Wirkungen werden von verschiedenen Beobachtern als ausgezeichnet beschrieben[4], sie sind in Frankreich und Italien bekannt geworden[5], und da sie dennoch keinen Beifall gefunden haben, so mufs die Ursache hiervon wohl in der (§. 534 angegebenen) Schwierigkeit liegen, die Gefäfse bei hohem Druck gehörig dampfdicht zu machen, welche Schwierigkeit durch die ungleiche Ausdehnung der Metalle in Folge der Erhitzung ausnehmend wächst. Auch nach Dufour (§. 539) müfste durch Anwendung einer höheren Elasticität ein bedeutender Nutzeffect erreicht werden, worauf wir später zurückkommen werden. Einige Verbesserungen der Dampfmaschinen hat Hall[6] bekannt gemacht, sehr empfohlen aber wurden die

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LIX. p. 24.

2 Ueber Perkins's high Prefs safety Steam-Engine findet man Nachricht in Silliman Am. Journ. T. XIII. p. 40.

3 Edinburgh Philos. Journ. N. XVII. p. 172. N. XXI. p. 211. Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. XXVI. S. 89 u. a. v. a. O.

4 Z. B. Newton in Edinburgh Phil. Journ. N. XIV. p. 359.

5 S. Biblioth. univ. 1824. Mars.

6 Biblioth. univ. T. XXX. p. 77.

rotirende Dampfmaschine von Morey[1], die von White[2], die unmittelbar rotirende von Bouvier[3], die von Eve[4], welche vielleicht unter allen die beste und am sinnreichsten construirt ist, die des Marquis de Manoury-d'Ectot, worüber Girard's[5] Bericht nähere Auskunft giebt, und noch viele andere, die sich namhaft machen liefsen, wenn es der Mühe werth wäre, alle die verschiedenen Angaben aufzusuchen. Unter diejenigen, welche namentlich in England die Leistungen der Dampfmaschinen und die verschiedenen Erfindungen zur Vermehrung ihres Nutzeffectes vorzugsweise beachten, gehören namentlich John Taylor[6] und Henwood[7]; wir müssen uns aber darauf beschränken, alles dieses, was zur speciellen Betrachtung dieser wichtigen technischen Apparate gehört, nur im Allgemeinen anzudeuten. Kaum Erwähnung verdient endlich auch der neuerdings vielfach besprochene Vorschlag, den atmosphärischen Luftdruck gegen einen in luftleeren Röhren fortgleitenden Embolus als bewegendes Mittel für Wagen zu benutzen, wobei die Röhren auf ihrer oberen Fläche der ganzen Länge nach durch Klappen verschlossen seyn, diese aber beim Fortgange des Wagens durch eine an diesem angebrachte Vorrichtung gehoben werden sollen. Praktiker wissen recht gut, dafs so lange, und obendrein aufgeschnittene, Röhren für einen darin fortgleitenden Embolus luftdicht zu machen eine für die geübtesten Künstler unmögliche Aufgabe ist. Auf ähnliche Weise scheinen auch der Ausführung einer von zwei berühmten Ingenieuren, Brunel und Henschel, ausgegangenen Idee, statt des Dampfes comprimirte atmosphärische Luft in Anwendung zu bringen, allzugrofse Schwierigkeiten im Wege zu stehen. Dürfen wir in Beziehung auf die Construction der Dampfmaschinen im Ganzen die uns gebotenen Grenzen nicht überschreiten, so ist dieses noch mehr der Fall in Beziehung auf die zahlreichen Vorschläge zur Ver-

1 Edinb. Philos. Journ. N. II. p. 348. Vergl. Edinb. Journ. of Science N. X. p. 347.

2 Edinb. New Philos. Journ. N. II. p. 466.

3 Ann. de Chim. et Phys. T. III. p. 177.

4 Aus Repertory of Patent Inventions in Dingler's polyt. Journ. Th. XXII. S. 17. Vergl. Th. XXVII. S. 347.

5 Mém. de l'Acad. l'Institut de France T. VII. p. 419.

6 Philosoph. Magaz. and Ann. T. I. p. 241. Lond. and Edinb. Philos. Magaz. N. XLI. p. 369. XLV. p. 136.

7 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. XLIV. p. 90.

sserung der einzelnen Theile, und es mag daher genügen, ofs auf dasjenige zu verweisen, was ALBAN[1] zur Sicherung r Dampfkessel für Hochdruckmaschinen angegeben hat, und ne ausführliche Abhandlung von SÉGUIER[2] über die Dampf-ssel im Allgemeinen hier namhaft zu machen.

561) Eine wichtige Frage, welche bei der Anwendung des ampfes als Bewegungsmittel vorzugsweise in Betrachtung kommt id worüber bereits ausführlich gehandelt worden ist[3], verdient er nochmals eine kurze Erörterung. Wie wir gesehen haben, achsen die Grade der Wärme, wodurch die Spannung des ampfes erhöht wird, nicht in gleichem Verhältnisse, als die asticitäten (§. 540), vielmehr bedarf es, um nur ein Beispiel zuführen, nur 22° C. Temperaturerhöhung, um die zu 100° C. hörige Elasticität des Dampfes zu verdoppeln. Hiernach heint es, als sei der Nutzeffect des Dampfes von höherer asticität unverhältnifsmäfsig gröfser, wenn man annehmen irfte, dafs für ein Verhältnifs der Temperaturen = 100:122 e Elasticität des Dampfes im Verhältnifs von 1:2 zunähme. on der anderen Seite aber nehmen die Dichtigkeiten der ämpfe in dem nämlichen Verhältnisse zu, in welchem die asticitäten wachsen, und da abgesehen von der Dichtigkeit eich viel Wärme erfordert wird, um eine gegebene Quanti-t Wasser in Dampf zu verwandeln, so mufs hiernach der utzeffect des Dampfes von jeder Spannung gleich seyn. Dieses : auch wirklich der Fall, wenn der Dampf von einfacher pannung einen Embolus mit einer Kraft z. B. = 1, der von ppelter Elasticität aber einen gleich grofsen Embolus mit der raft = 2 hebt, und in dieser Beziehung gewähren also die ochdruckmaschinen zwar einen gröfseren Effect, aber nur dem ifgewandten Brennmaterial und der Dichtigkeit nebst der Ela-icität des dadurch erzeugten Dampfes proportional, also keinen ermehrten Nutzeffect. Man mufs aber zugleich überlegen, dafs er benutzte Dampf, nachdem er den Embolus gehoben hat, it seiner ganzen Elasticität entweicht, also dafs bei einfachem rucke Dampf von der Elasticität = 1, bei doppeltem Drucke er solcher von der Elasticität = 2 verloren wird, welcher

1 Dingler's polytechn. Journ. Th. XXXIX. S. 241.
2 Ebendaselbst. Th. XLIV. S. 401.
3 S. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 306.

letztere immerhin noch eine bedeutende Kraft äufsern könnte, was uns daher auf das Princip der Expansionsmaschinen[1] führt. Zur nähern Bestimmung der Sache nimmt G. G. Schmidt[2] an, dafs ein Kubikfufs Dampf von doppelter Spannung und ein Kubikfufs Dampf von zehnfacher Spannung beide auf einen Embolus von 1 Quadratfufs Fläche wirken, und zwar so, dafs sie sich bis zum Druck von einer Atmosphäre ausdehnen. Sofern die mechanischen Effecte nicht von der momentanen Pressung, sondern von der Summe der Wirkungen abhängen, die Spannkräfte der sich ausdehnenden Dämpfe aber stets im verkehrten Verhältnisse der Räume stehen, durch welche sie sich ausgedehnt haben, so steht die Summe aller Wirkungen im zusammengesetzten Verhältnisse der anfänglichen Spannungen und der Logarithmen der Räume. Hiernach ist in dem gewählten Beispiele das Verhältnifs der mechanischen Wirkungen:

$$2 \text{ Log. } 2 : 10 \text{ Log. } 10 = 0{,}6 : 10 = 6 : 100,$$

das Verhältnifs des erforderlichen Feuerungsaufwandes ist aber:

$$2 : 10 = 1 : 5,$$

mithin bei gleichem Feuerungsaufwande das Verhältnifs der mechanischen Effecte = 6 : 23, was das Dreifache noch übersteigt. Zu einem hiervon bedeutend abweichenden Resultate gelangt Dufour[3] durch eine sehr ausführliche Untersuchung dieser Aufgabe, wobei er zugleich auf vermehrte Reibung und den wahrscheinlichen Verlust von Dampf Rücksicht nimmt. Man darf hoffen, sagt er, dafs ein gleicher mechanischer Effect durch die Hälfte des Brennmaterials oder ein doppelter mechanischer Effect für gleichen Aufwand von Brennmaterial durch Anwendung des Dampfes von hohem Drucke gegen den von niedrigem Drucke erhalten werde, allein auf gröfsere Effecte ist nicht zu rechnen.

562) Ein Gegenstand, welcher sich zwar zunächst auf die technische Anwendung bezieht, zugleich aber die physikalischen Gesetze sehr in Anspruch nimmt, ist die Frage, auf welche Weise die mit der Hitze stets wachsende Elasticität des Dampfes in den gehörigen Schranken gehalten wird, um nicht durch Uebermafs Nachtheil zu bringen. Seit der Einführung der

---

1 S. Art. *Dampfmaschine*. Bd. II. S. 448.

2 Hand- und Lehrbuch d. Naturlehre. Giefs. 1826. S. 448.

3 Bibliothèque univers. T. XXXIV. p. 148.

Dampfmaschinen in den Bergwerken und den Fabriken, insbesondere nach ihrer Anwendung zur Bewegung der Schiffe und der Locomotiven auf den Eisenbahnen hörte man wiederholt die betrübenden Nachrichten vom Zerspringen der Kessel und von den schrecklichen Verheerungen, die durch diese Aeufserungen einer ungezügelten Kraft hervorgebracht wurden. Dieses bewog nicht blofs die Physiker, auf die zweckmäfsigsten Mittel zur Verhütung solcher Unglücksfälle ihre Aufmerksamkeit zu richten, sondern auch die Regierungen fanden sich veranlafst, zur Sicherung des Publicums die Anwendung dieser so leicht gefährlichen Maschinen einer öffentlichen Controle zu unterwerfen. Insbesondere ist dieses im Jahre 1830 in Frankreich durch diejenigen Ordonnanzen geschehen, welche die erforderliche Prüfung der Maschinen und insbesondere der Dampfkessel bestimmen[1]. Die hierzu erforderlichen Gröfsenbestimmungen wurden hauptsächlich aus zwei Untersuchungen entnommen, nämlich aus der bereits erwähnten der Pariser Akademie, über die mit den Temperaturen wachsende Elasticität des Wasserdampfes (§. 534 ff.), und aus einer zweiten ausführlichen von Arago über die Ursachen des Zerspringens der Dampfkessel. Da die meisten in Anwendung gebrachten Dampfmaschinen nur solche von einfachem atmosphärischem Drucke sind, wobei allerdings in Folge der mechanischen Construction die Hitze des Wassers einige Grade über den Siedepunct gesteigert, mithin auch die Elasticität des Dampfes etwas über den mittleren atmospärischen Luftdruck erhöhet wird, so kann die zum Widerstande hiergegen erforderliche Stärke, namentlich des Kessels, nicht sehr bedeutend seyn, wenn man berücksichtigt, dafs der inneren Elasticität des Dampfes die äufsere der atmosphärischen Luft entgegenwirkt, mithin unter Voraussetzung völliger Gleichheit beider nur eine verschwindende Dicke der Wandungen erfordert würde. Wirklich ergab auch die Erfahrung durch eine genaue Prüfung der die Unglücksfälle dieser Art begleitenden Umstände, dafs bei weitem in den meisten Fällen das Zerspringen der Kessel durch eine ganz unglaubliche Nachlässigkeit, mitunter durch eine ganz eigentlich frevelhafte Unbesonnenheit der Arbeiter herbeigeführt worden war, indem sie die Verstopfung der Ventile nicht beachteten oder absichtlich herstell-

1 Sie finden sich in Annales des Mines 1830. T. VIII. p. 109.

ten und durch übertriebene Heizung die Leistungen der Maschine über ihre Grenzen zu treiben suchten. In einigen Fällen ereigneten sich jedoch solche Unglücksfälle, bei denen sich keine Nachlässigkeit auffinden liefs, vielmehr das Zerspringen durch unbegreifliche Ursachen herbeigeführt schien. Die Ermittelung dieser mehr verborgenen Gründe des Zerspringens der Dampfkessel veranlafste Arago[1] zu einer umfassenden Prüfung aller hierbei mitwirkenden Bedingungen in einer gediegenen und allgemein beachteten Abhandlung, deren wesentlichsten Inhalt wir mittheilen wollen.

563) Arago zählt zuerst die bedeutendsten Erfahrungen über das Zerspringen der Dampfkessel auf, wobei die Ventile nicht verschlossen waren. Dahin gehört das furchtbare Ereignifs zu Lochrin bei Edinburg am 21sten März 1814, wobei der obere Theil des Kessels, 140 Centner an Gewicht, durch das zweite Stockwerk und dann 70 Fufs weit zur Seite geschleudert worden war. Uebergehn wir die Fälle, in denen die Ventile festgemacht oder übermäfsig belastet waren und das Zerspringen daher nothwendig ward, so erscheinen andere dagegen um so paradoxer, je weniger eine so nahe liegende Ursache bei ihnen vorhanden war. Dahin gehört das Zerspringen des Dampfkessels in der Seidenspinnerei zu Essonne am 3ten Febr. 1823 und wenige Tage nachher in einer Fabrik zu Paris, nachdem kurz zuvor die Maschinen merklich langsamer gingen, als gewöhnlich, und indem die Ventile sich bei der Explosion wirklich öffneten. Auch die Maschine des Dampfbootes Aetna in America liefs in ihrer Wirkung vor dem Zerspringen nach, die des Dampfbootes Rapide zu Rochefort zeigte am Manometer eine geringere Spannung des Dampfes, und bei der des Dampfbootes Graham waren kurz vorher 20 Pfund Gewicht vom Ventile weggenommen worden. Zu Lyon zersprang ein Kessel unmittelbar nachher, als man durch Oeffnen eines Hahns eine Quantität Dampf herausgelassen hatte. Auf gleiche Weise hat man nicht zu bezweifelnde Erfahrungen, dafs Ventile sich hoben, was in Folge gröfserer Spannung des Dampfes erfolgen mufste, nachdem man eine Quantität Dampf durch Oeffnen eines Hahns hatte entweichen lassen. Zu Pittsburg in America

---

1 Annuaire pour 1830. p. 187. Daraus in Wiener Zeitschrift. Bd. VII. S. 477. Poggendorff's Ann. XVIII. 287.

ersprang einer der drei Kessel einer Maschine, nachdem er we- ;en zu geringer zugeführter Wassermenge rothglühend geworden var. In einem von Perkins mitgetheilten Falle bekam der Kessel einen Rifs, aus welchem Dampf strömte; er wurde hier- lurch etliche Fufs von seiner Unterlage in die Höhe gehoben ınd zersprang dann in der Luft.

Es scheint, als könne man solchen Unglücksfällen leicht urch Anwendung der seit den ältesten Zeiten bekannten Ven- ile begegnen, die aus einer auf einer runden Oeffnung auflie- enden Scheibe bestehen, welche dann nach Befinden mit chwereren oder leichteren Gewichten belastet werden. Die ngegebenen Beispiele zeigen jedoch, dafs unter Umständen solche)effnungen keine zur Sicherung hinlängliche Menge Dampf urchlassen, und wollte man die Oeffnungen zu sehr vergrö- sern, so würde dieses das genaue Schliefsen erschweren und llzugrofse Gewichte erfordern[1]. Aufserdem aber tritt hierbei las durch Clement[2] entdeckte Phänomen hindernd ein, wo- ıach die bedeckende Platte zwar gehoben, durch die atmosphä- ische Luft aber so sehr wieder niedergedrückt wird, dafs der lastische Dampf in zu geringer Menge entweicht und die Wandungen des Kessels seiner Gewalt nicht zu widerstehn ermögen. Nach den gesetzlichen Bestimmungen in Frankreich nufs ein gufseiserner Dampfkessel bei der Probe, ehe er ge- tempelt wird, einen fünffachen, ein kupferner und von Schmie- leeisen verfertigter aber einen dreimal stärkeren Druck aushal- en, als welchem er beim Gebrauch zu widerstehn hat, und lennoch gewährt dieses keine vollkommene Sicherheit. Ver- uche von Tremery haben nämlich gezeigt, dafs die Cohäsion les Schmiedeeisens in mittlerer Temperatur sechsmal stärker ist, ls bei der Rothglühhitze, und wenn daher ein Theil des Kes- els unglücklicherweise bis zu dieser gelangt, so kann er der estandenen Probe ungeachtet zerplatzen. Allerdings könnte nan die Probe auch mit Dampf anstellen, statt mit einer Was- erpumpe; erstere würde aber unermefslich ausgedehnte Vorrich- ungen erfordern und die Probirenden einer sehr nahen Gefahr

---

1 Poggendorff in Ann. a. a. O. S. 303 bemerkt, dafs die Oeff- ıungen nicht selten zu klein, die überragenden Ränder der bedecken- len Scheibe aber zu grofs sind.

2 Vergl. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 679.

aussetzen, statt daſs bei der Anwendung einer Wasserpumpe auch beim Zerplatzen für die Umstehenden nichts zu fürchten ist. Bei den letzteren Proben wächst auſserdem der Druck allmälig, und sie geben daher keine sichere Auskunft über die Folgen einer plötzlich eintretenden Vergröſserung des Druckes, wie auch über diejenige Stärke, welche das Metall nach längerer Einwirkung der Hitze noch behält. Vor allen Dingen ist daher erforderlich, den Kessel wiederholt zu prüfen und insbesondere das zu vermeiden, was eine plötzliche starke Erzeugung des Dampfes bewirken kann. Auſserdem aber kann das Ventil durch Oxydation oder durch klebrige Substanzen stark adhäriren, und es muſs daher nicht zu lange, wenigstens keine ganze Woche ungeöffnet bleiben. In Frankreich ist zu mehrerer Sicherheit vorgeschrieben, daſs jeder Kessel zwei Ventile habe, deren eins in einem Kasten eingeschlossen ist, wozu bloſs der Eigenthümer oder der Maschinist den Schlüssel hat.

Arago nennt unter den Sicherungsmitteln auch die leichtflüssigen Metalle, wovon er jedoch bloſs angiebt, daſs sie als Platten in den Kessel eingelöthet werden. Nach der französischen Ordonnanz sollen zwei Platten in jeden Dampfkessel eingesetzt seyn, eine kleinere, deren Schmelzpunct 10° C. höher liegt, als die zur Erzeugung des Dampfes bestimmte Temperatur, und eine gröſsere von abermals 10° höher liegendem Schmelzpuncte. Die gegen sie gemachte Einwendung, daſs ihr Schmelzen ohne übermäſsige Elasticität des Dampfes bloſs durch zu groſse Hitze erfolgen könne, muſs um so nichtiger erscheinen, als gerade die partielle übergroſse, bis ans Glühen reichende, Hitze der Kessel ihr plötzliches Zerspringen herbeizuführen pflegt. Zwei andere Einwendungen aber, zuerst daſs das Metall vor seinem Schmelzpuncte erweicht und herausgeschleudert werden könne, wogegen es übrigens durch ein feines Drahtgeflecht geschützt werden soll, und zweitens daſs nach dem Schmelzen des Metalls der Kessel auf einige Zeit bis zur Wiederherstellung unbrauchbar werde, was namentlich für Dampfboote gefährlich werden könne, beruhen nach Poggendorff's Bemerkung auf einer unrichtigen Vorstellung der Sache. Nach der Einrichtung der Sicherungsmittel durch leichter flüssige Metalle, welche ihr wahrscheinlicher Erfinder v. Reichenbach[1] bei

1 Vergl. Schweigger's Journ. XVIII. 276.

seinen Dampfmaschinen in Anwendung brachte, wird das Metall in konische eiserne Röhren gegossen, die durch Reibung in Dillen festgesteckt sind; das Metall kann also nicht durchgedrückt werden, bis es geschmolzen ist, und die Wiederherstellung geschieht leicht, indem bloſs erfordert wird, einige solche Kegel bereit zu halten und statt der beschädigten in die Dillen zu stecken. Ob es übrigens zweckmäſsig sey, die Einrichtung so zu treffen, daſs das im Kessel befindliche Wasser nach dem Schmelzen des Metallgemisches zu den Kohlen gelange und diese auslösche, wage ich aus Mangel an Erfahrungen hierüber nicht zu entscheiden. Von der einen Seite ist zwar das baldige Auslöschen des Feuers unverkennbar sehr nützlich, von der andern aber verdient die Wirkung der groſsen Menge des hierdurch plötzlich erzeugten Dampfes berücksichtigt zu werden. Dieses Sicherungsmittel dient übrigens nur zur Vermeidung von Unglücksfällen und schlieſst die gewöhnlichen Ventile nicht aus, welche ohnehin zum Herauslassen des Dampfes unentbehrlich sind. Nach Arago hat man statt der leichtflüssigen Metallplatten auch schwer schmelzbare, aber so dünne Platten vorgeschlagen, daſs sie früher zerreiſsen, als der Dampf den ganzen Kessel zu zersprengen vermag. Inzwischen sollen die Sicherungsplatten selten gebraucht worden sein, weil sich auf experimentellem Wege schwer bestimmen lasse, welche Dicke der Platte bei gegebener Gröſse der Oeffnung erforderlich sey[1], oder weil man nicht dafür stehen könne, stets Platten von der angemessenen Beschaffenheit zu erhalten. Das Manometer soll als sicherstes Ventil gelten, weil es dem Arbeiter augenblicklich zeigt, ob die bestimmte Grenze überschritten wird, und wäre es zufällig verstopft, so würde seine gänzliche Bewegungslosigkeit, die bei der stets wechselnden Elasticität des Dampfes nicht statt finden kann, dieses anzeigen. Obgleich dieses unzweifelhaft gewiſs ist, so möchten wir doch dagegen erinnern, daſs die Arbeiter selbst aus frevelhafter Unbesonnenheit ebenso gut das Manometer entweder unbeachtet lassen oder gar absichtlich verstopfen können, als sie dieses bei den

---

1 Die Bestimmung müſste aus dem Drucke entnommen werden, welchen der Dampf gegen einen Quadratzoll der Platte ausübt, aus der Gröſse der Platte und der Cohäsion des gewählten Metalls. Vergl. Art. *Röhren.* Bd. VII. S. 1402.

Ventilen thun; inzwischen kann dieser Mißbrauch das sehr wichtige und ganz unentbehrliche Manometer nicht überflüssig oder gar unnütz machen. Ein Hauptumstand aber, welcher alle angegebene Sicherungsmittel beschränkt und zuweilen ihre Wirksamkeit ganz aufhebt, soll sogleich näher erörtert werden; denn was ARAGO über die Nothwendigkeit der einwärts gehenden oder umgekehrten Ventile sagt, ist bereits oben[1] erwähnt worden.

Aus allen diesen Betrachtungen folgt, daſs die Dampfmaschinen nach der erforderlichen Prüfung der Kessel und bei gehöriger Aufmerksamkeit der Arbeiter eine gleiche Sicherheit gewähren, als alle andere groſse Maschinerien; denn daſs auch bei diesen durch Unvorsichtigkeit bedeutende Unglücksfälle und Beschädigungen der Arbeiter und der in ihrer Nähe befindlichen Menschen überhaupt herbeigeführt werden können und oft herbeigeführt werden, ist allbekannte Erfahrung; die beachteten Ereignisse dieser Art scheinen nur bei den Dampfmaschinen häufiger zu seyn, weil gerade diese so vielfach angewandt werden und die im Verhältniſs zu ihrer Menge selten zu nennenden Explosionen der Dampfmaschinen allerdings dann, wenn sie sich ereignen, sehr bedeutenden Schaden anrichten. Die Ursachen der vorgekommenen Unglücksfälle liegen offen vor und ebenso die Mittel, sie zu verhüten, allein unerklärt bleiben die Ereignisse, daſs Dampfkessel platzten, nachdem die Elasticität ihres Dampfes geringer geworden war, und selbst während das Ventil sich geöffnet hatte. ARAGO gesteht selbst, daſs PERKINS die höchst wahrscheinliche Ursache dieser Phänomene aufgefunden habe und er selbst daher dessen Meinung mittheile[2]. Die Sache, einfach genommen, beruhet darauf, daſs der Kessel an den Stellen, wo ihn das Wasser berührt, ebenso wie letzteres selbst, keine höhere Hitze annehmen kann, als welche dem Drucke des erzeugten Dampfes angemessen ist. Wenn aber das Feuer auf Theile des Kessels wirkt, die nicht mit Wasser in Berührung sind, so kann der vorhandene Dampf eine weit gröſsere Hitze erhalten, als welche seiner Elasticität zugehört, er ist dann kein gesättigter. Wird derselbe, eben

---

1 S. Art. *Dampfmaschine.* Bd. II. S. 468.

2 Die Abhandlung von PERKINS findet man in Edinburgh Philos. Journ. N. XIII. p. 166.

ch das Oeffnen des Ventils, zum Theil entfernt, schleudert dann stärker sich entwickelnde Dampf eine Quantität Was- in den stark erhitzten Dampf und bringt er dasselbe mit heifsen Wandungen in Berührung, so tritt plötzlich eine starke Dampfentwickelung ein, dafs eine Explosion noth- ıdig erfolgen mufs. Als Beweise der Richtigkeit dieser An- ıt können die Erfahruugen dienen, dafs Moyle einst die un- n Theile einer auf dem Dampfkessel stehenden Leiter bren- ıd fand, und ebenso entzündete sich in einem andern Falle Fichtenbret auf dem Dampfkessel des Packetbootes zwischen erpool und Dublin. Perkins selbst mafs bei einem Kessel, welchem nur $\frac{1}{6}$ mit Wasser gefüllt war, das Feuer aber bis eichte, die Temperatur des Wassers mit einem bis auf den len hinabgesenkten Thermometer, und fand sie 104° C., lche Wärme auch der Dampf dicht über der Oberfläche des ıssers hatte, in der halben Höhe des Kessels aber zeigte das ermometer 260° C. und der Deckel war rothglühend. Dafs ı dem nach aufgehobenem Drucke schnell aufkochenden Was- losgerissene Tropfen bis in den stark erhitzten höheren ım des Kessels geschleudert werden, mufs man nach bekann- Erscheinungen als gegründet betrachten, und die hierdurch, wie durch die Einwirkung der glühenden Wände plötz- ı erzeugte unglaubliche Menge von Wasserdampf wird dann ache der erfolgenden gewaltsamen Explosion. Perkins hat ıehin diese schnelle Dampfproduction durch directe Versuche einem Generator erwiesen. Diese Betrachtungen erhalten igens durch die beobachteten Explosionen volle Bestätigung.

Arago versucht dann weiter den Umstand zu erklären, s mitunter die Kessel in einer nahe über dem Wasserspiegel laufenden geraden Linie abgerissen sind. Nach seiner An- ıt liegt die Ursache hiervon darin, dafs bei abnehmender ınnung des Dampfes der Kessel durch den atmosphärischen ftdruck nach innen gebogen werde, welche Biegung jedoch ı mit Wasser gefüllten Theil am wenigsten, den unmittelbar über befindlichen am stärksten treffe. Nach plötzlicher npferzeugung erfolge eine entgegengesetzte Ausbeugung, lche an derselben Stelle abermals am stärksten sey und dann Zerreifsen herbeiführe. Arago erwähnt, dafs aufserdem se Linie den Kessel in zwei Zonen von sehr ungleicher ıtigkeit theile, indem oberhalb derselben das Metall weit stärker

erwärmt sey, als das Wasser, allein mir scheint die Hypothese der zuerst nach innen und dann nach aufsen so schnell nach einander erfolgenden Biegungen etwas gewagt und nicht durch die Erfahrung unterstützt. Zuerst ist gar kein Grund vorhanden, in den beiden Fällen zu Lochrin und zu Lyon, wo die oberen Hälften der Kessel in einer genau horizontalen Linie abgerissen waren, ein solches Herabsinken der Elasticität des Dampfes anzunehmen, dafs die nachher zerplatzenden Kessel von aufsen vorher eingedrückt worden wären, zweitens aber werden bei solchen Zusammendrückungen die ganzen Flächen gebogen, bis sie an den schwächsten Stellen, aber nicht in einer geraden Linie, zerreifsen, wie auch aus dem allseitig verbreiteten Drucke nothwendig folgt. Endlich aber müfsten wohl Spuren einer solchen wechselnden Biegung beim Zerplatzen selbst oder an den zerrissenen Kesseln wahrgenommen worden seyn. Dagegen läfst sich mit Grund voraussetzen, da das Feuer von unten her einwirkt, das Wasser aber mehr Wärme ableitet, als der Dampf, dafs unmittelbar über dem Wasser, also in der durch den Rifs bezeichneten Linie, das Metall am heifsesten und seine Cohäsion daher am geringsten seyn mufs. Zudem pflegt Eisen, zunächst zwar nur Gufseisen[1], sobald es partiell erhitzt wird, leicht von selbst und zwar meistens in geraden Linien zu zerspringen, diese gerade Linie war aber in diesen Fällen durch die Grenze der gröfsten Erhitzung über dem abgekühlten Theile bezeichnet. Uebrigens folgt hieraus, dafs vor allen Dingen der Kessel vor einem zu niedrigen Wasserstande verwahrt werden mufs, damit er nicht an einigen Stellen eine zu grofse Hitze annehme. PERKINS zeigt daher, wie nothwendig eine in den Kessel hinabgehende, durch einen Hahn verschlossene, Röhre sey, deren Mündung nur bei zu niederigem Wasserstande frei wird und welche daher die drohende Gefahr anzeigt, wenn aus ihr beim Oeffnen Dampf statt Wasser ausströmt.

564) ARAGO prüft weiter auch die Meinungen anderer berühmter Techniker über das paradoxe Zerspringen der Kessel bei geöffneten Ventilen. Dahin gehört zuerst die von MARESTIER,

---

1 Die beiden zersprungenen Kessel, worauf sich diese specielle Untersuchung bezieht, waren der Angabe nach von Schmiedeeisen; doch ist dieses bei dem zu Lochrin kaum glaublich, da die Wandungen der Angabe nach *vier Zoll* Dicke hatten.

wonach das glühende Metall durch das Aufwallen des Wassers in Folge des entweichenden Dampfes plötzlich abgekühlt und aufserdem die augenblicklich erzeugte Menge des Dampfes durch das glühende Metall gebildet werden soll, statt dafs nach PERKINS der schon vorhandene sehr heifse Dampf die hierzu erforderliche Wärme hergiebt[1]. ARAGO wendet hiergegen ein, dafs nach den Erscheinungen im Leidenfrost'schen Versuche (§. 532) sehr heifses, vor allen Dingen glühendes, Metall das Wasser nicht verdampfen macht; allein dieses ist wohl zu einseitig aufgefafst, denn von der andern Seite zeigt die tägliche Erfahrung, dafs glühendes Eisen, in Wasser getaucht, letzteres unter gewaltsamem Aufwallen stark in Dampf verwandelt, wobei es selbst schnell abgekühlt wird. Es würde nicht schwer seyn, beide Phänomene in Einklang zu bringen, was ich jedoch der Kürze halber übergehe, inzwischen unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs die Berührung des heifsen Metalls mit dem kälteren Wasser eine Hauptursache der plötzlichen starken Dampfbildung, und die bewirkte Abkühlung des Metalls dann wieder Ursache des Zerspringens sey. Eine andere Hypothese von GENSOUL, wonach das Entweichen des Dampfes einen Rückstofs nach der entgegengesetzten Seite erzeugen soll, welcher nach Art eines Hammerschlages plötzliches Zerreifsen des stark gespannten Metalles bewirke, ist nach ARAGO deswegen unzulässig, weil sie eine vorausgehende starke Spannung des Dampfes voraussetzt, die nach den Erfahrungen nicht vorhanden ist, wonach vielmehr zuweilen ein Nachlassen der Elasticität des Dampfes vorausgeht. Obgleich hiergegen erinnert werden könnte, dafs das Oeffnen der Ventile in den Fällen, wo dieses dem Zerspringen vorausgeht, die starke Spannung des Dampfes beweise, so dürfte doch die angegebene Ursache als überflüssig und unstatthaft erscheinen; denn fände ein solcher Rückstofs wirklich statt, so müfsen sich die Wirkungen desselben bei jedem Oeffnen des Ventils auf irgend eine Weise zeigen, und ist auf der einen Seite einmal die gewaltsame Entwickelung des Dampfes vorhanden, so genügt diese zur Erklärung des Zerspringens der Kessel, die leicht wie durch einen Stofs oder Schlag einen Rifs bekommen,

1 Nach DULONG genügt letztere wegen der latenten Wärme des zu bildenden Dampfes hierzu nicht, wie ARAGO bemerkt was und an sich wohl nicht zweifelhaft seyn kann.

sondern durch das expandirte Medium aus einander gerissen werden, welches seine Anwesenheit und Wirkung durch den enormen Knall beurkundet. Nach einer dritten Hypothese[1] soll aus dem durch das erhitzte Eisen der Kessel zersetzten Wasser Hydrogengas gebildet werden, dieses sich mit atmosphärischer Luft mischen und das so gebildete Knallgas nach der Entzündung die Explosion herbeiführen. Hiergegen läſst sich aber anführen, daſs zwar ohne Zweifel Wasserstoffgas gebildet wird, und zwar bei starker Erhitzung des Eisens in nicht geringer Menge, so daſs es, mit dem Dampfe zugleich entweichend, immerhin den langsameren Gang der Maschinen herbeiführen könnte, allein zu seiner Explosion fehlt auf der einen Seite das erforderliche Sauerstoffgas, auf der andern das Mittel der Entzündung. Atmosphärische Luft ist im Kessel nicht in bedeutender Menge vorhanden, und obendrein wird der geringe Theil Sauerstoffgas, welcher aus dieser oder aus der im Wasser enthaltenen Luft entnommen werden könnte, früher durch das heiſse Eisen verzehrt, als dieses das Wasser zerlegt; zur Entzündung des Knallgases würde dann aber die erforderliche Glühhitze fehlen, und zu einem elektrischen Funken seine Zuflucht zu nehmen wird wohl niemandem ernstlich einfallen, da noch obendrein die im Wasserdampfe vertheilte, auf jeden Fall geringe, Menge Knallgas überhaupt nicht entzündet werden könnte. Unleugbar dagegen wird in den Hohöfen oft eine groſse Menge Kohlenoxydgas und Kohlenwasserstoffgas erzeugt, dieses verbindet sich leicht mit atmosphärischer Luft zu Knallgas, und mitunter entstehen hierdurch die gewaltsamsten Explosionen, die jedoch mit dem Zerspringen der Dampfkessel nichts zu thun haben. Endlich übersieht Arago bei seiner ausführlichen Untersuchung das Ansetzen des Pfannensteins nicht, welches nach der gröſseren Verunreinigung des angewandten Wassers in kürzerer Zeit und mit beträchtlich wachsender Dicke erfolgt. Dieser Bodensatz ist schlechter Wärmeleiter, das unter ihm befindliche Metall wird daher übermäſsig heiſs und demnach dem Zerreiſsen leichter ausgesetzt, aber diese Gefahr wird auſserdem noch dadurch vermehrt, daſs in dem Ueberzuge Risse entstehn, durch welche das Wasser zum Metalle gelangt und dieses

---

1 Diese ist von Taylor aufgestellt oder vertheidigt worden. S. Edinburgh New Philos. Journ. N. XII. p. 395.

einseitig abkühlt, wodurch namentlich beim Gufseisen leicht ein Bersten herbeigeführt werden kann. Im Ganzen geht aus diesen Betrachtungen hervor, dafs zwar allerdings die Dampfmaschinen Gefahr drohen, die jedoch durch sorgfältige Beachtung leicht vermeidlich wird, weswegen aber nöthig ist, bei ihnen aufmerksame und besonnene Aufseher anzustellen, wie schon Watt dringend anempfahl, obgleich sie dieses so wenig zu bedürfen und ohne äufsere Einmischung ihren regelmäfsigen Gang durch sich selbst fortzusetzen scheinen.

Es giebt noch weitere Untersuchungen dieser nämlichen Aufgabe, z. B. von Hebert[1]; man darf aber annehmen, dafs sie wenig oder gar nichts Neues enthalten, da die Aufgabe durch Arago mit genügender Vollständigkeit abgehandelt worden ist.

565) Eine für die praktische Anwendung der Dampfmaschinen sehr wichtige Frage betrifft das Verhältnifs des zur Erzeugung einer gegebenen Quantität Dampfes erforderlichen Aufwandes von *Brennmaterial.* Es giebt hierüber *theoretische Bestimmungen*, wenn man die aus Erfahrungen gefundene Menge der durch das Verbrennen der verschiedenen Combustibilien erzeugten Wärme (§. 168) zum Grunde legt und hiernach die Quantität des Dampfes berechnet, welcher durch ein gegebenes Brennmaterial gebildet wird. Zwar sind die hiernach berechneten Gröfsen sehr abweichend und obendrein in unbestimmbaren Verhältnissen verschieden von den Resultaten im Grofsen, weil die mitwirkenden Bedingungen sich nicht wohl scharf angeben lassen. Aufser den hierüber allgemein bekannten Erfahrungen will ich mich nur auf Dufour[2] berufen, welcher unbedenklich den Satz ausspricht, dafs die theoretischen Bestimmungen der Dampfmengen von den in der Praxis vorkommenden bedeutend abweichen, und auf eine Aeufserung Arago's[3], wonach die zu dick auf dem Roste aufgehäuften Kohlen mit grofsem Verluste ihrer Heizkraft eine leicht gefährlich werdende Menge entzündlicher Gase erzeugen. Inzwischen ist es nicht überflüssig, für einen, wenn auch nur genähert richti-

1 Dingler polytechn. Journ. Bd. XXXIX. S. 88. In dieser Zeitschrift findet man überhaupt alles das sehr vollständig gesammelt, was über Dampfmaschinen verhandelt worden ist; es würde aber zu weitläuftig seyn, alle Abhandlungen einzeln aufzuzählen.

2 Bibliothèque univ. T. XXXIV. p. 148.

3 A. a. O. am Ende der Abhandl.

gen, Anhaltpunct die hierüber bestehenden Bestimmungen zu kennen. Diese sind daher oben[1] mitgetheilt worden. Weil aber dabei eine falsche Gröfse zum Grunde lag, so sind auch die hieraus abgeleiteten Werthe unrichtig geworden, und ich gebe daher hier die richtigen. Es liefert 1 Kub. Fufs Steinkohlen von 1,45 spec. Gewicht gegen Wasser als Einheit, oder nahe ein Centner, 23652 Kub. Fufs Wasserdampf von der Elasticität der atmosphärischen Luft; 1 Kubikfufs Holzkohlen von 0,25 spec. Gewicht, also etwa 18 Pfund, liefert 4080 Kubikfufs; 1 Kubikfufs Holz von 0,665 spec. Gewicht, also 47,5 Pfund, giebt 5100 Kubikfufs. Ueber den Torf läfst sich nicht wohl etwas Bestimmtes angeben, weil seine Güte so ausnehmend ungleich ist. Nach Partington soll der Erfahrung gemäfs 1 Pfund Steinkohlen statt 10 Pfund Wasser nur 7 Pfund in Dampf verwandeln. Werden hiernach die obigen Gröfsen in diesem Verhältnifs reducirt, so giebt 1 Kubikfufs Steinkohlen 16556 Kubikfufs Dampf; 1 K. F. Holzkohlen 2856 Kubikfufs und 1 K. F. Holz 3570 Kubikfufs Dampf von der Elasticität der atmosphärischen Luft.

566) Als bewegende Kraft hat man den Dampf, aufser bei Dampfmaschinen, auch zum Fortschleudern der Geschützkugeln zu benutzen versucht, und eigene *Dampfkanonen* verfertigt. Dasjenige, was hierüber in einem eigenen Artikel bereits[2] mitgetheilt worden ist, bezieht sich hauptsächlich auf das, was Perkins[3] hierin zu leisten versucht hat; das Urtheil fiel aber im Ganzen dahin aus, dafs dieses Mittel keinen bedeutenden Gewinn verspreche. Berücksichtigen wir die seitdem bekannt gewordenen Resultate der französischen Akademiker (§. 534), welche die Elasticität des Dampfes nur bis zu 24 Atmosphären zu treiben vermochten, weil die Liederungen der Gefäfse nicht weiter aushielten, und vergleichen wir damit die Elasticität des glühenden Schiefspulvergases, die zwar nicht leicht genau bestimmbar ist, nach Berzelius[4] aber bei 2,5 Pfund entzündeten Schiefspulvers 2087, bei 2 Pfund aber 2311 Atmosphären betragen soll, so ist

---

1 S. Art. *Dampf*. Bd. II. S. 480.

2 S. Art. *Dampfkanone*. Bd. II. S. 410.

3 Vergl. Dingler polyt. Journ. Th. XIX. S. 103. Th. XX. S. 105 u. 223.

4 Dessen Jahresbericht. Th. VIII. S. 63.

ladurch wohl ohne Widerrede das ausgesprochene Urtheil gerechtfertigt, wonach der Dampf niemals bei praktischer Anwendung eine gleiche Gewalt ausüben und gleiche oder auch nur entfernt nahe kommende Leistungen gewähren kann. Wir dürfen auch annehmen, dafs dieses durch die Erfahrung bestätigt ist; denn wenn der Dampf wirklich das leisten könnte, was von ihm versprochen wurde, so hätte man in den vielen seitdem verflossenen Jahren längst Anwendung davon gemacht. Durch Privatmittheilungen ist mir bekannt geworden, dafs auch in den österreichischen Staaten ein Künstler eine solche Kanone verfertigte, welche auf gleiche Weise, als die späteren von Perkins, mit einem Magazine versehen war, aus welchem an die Stelle der eben fortgeschleuderten Kugel sofort eine andere trat, wonach also zwar viele Kugeln schnell hinter einander abgeschossen wurden, allein die eigentliche Schwierigkeit der Aufgabe liegt darin, Dampf von hinlänglicher Elasticität überhaupt und insbesondere so zu bereiten, dafs die Wandungen der Gefäfse bei der nothwenig gesteigerten Hitze hinlänglichen Widerstand leisten, was nach dem jüngsten Beispiele des Zerplatzens von Thilorier's Apparate (§. 470) nicht ohne Gefahr versucht werden kann.

Unterdefs ist dieses Problem einer gründlichen Untersuchung durch Prechtl[1] unterworfen worden. Dieser berechnet aus den Bestandtheilen des Schiefspulvers, dafs die daraus entwickelten Gase bei 0° C. einen 416,6fachen Raum einnehmen[2], und wenn dann die Menge Wärme, welche durch das Verbrennen der Kohle entsteht, und zugleich die specifische Wärme der erzeugten Gase zum Grunde gelegt wird, so würden die letztern auf eine Temperatur von 8984° C. gebracht werden, was nach Prechtl beiläufig die Weifsglühhitze einer Schmiedeesse seyn soll. Durch diese exorbitante Hitze würde dann das Gas auf 14490 Atmosphären Druck gebracht werden; allein hierbei ist die Wärmeentziehung durch die Wandungen nicht in Abzug gebracht worden, verbrennendes Schiefspulver zeigt keine Weifsglühhitze, ungefähr nur helles Kirschrothglühen, und diesem gehören nach Pouillet (§. 165) nur etwa 1000° C. zu. Wenn wir also hiernach das wirkliche Glühen des Schiefspulvergases

1 Jahrbücher des Wiener polyt. Instituts Bd. IX. S. 1.
2 Vergl. Art. *Schiefspulver*. Bd. IX. S. 524.

bei seiner Explosion schätzen und demnach etwa auf ein Siebentel herabsetzen, so würde dieses der eben mitgetheilten Bestimmung von Berzelius sehr nahe kommen. Den Einfluſs des im Schieſspulver enthaltenen Wassers sucht Prechtl gleichfalls zu bestimmen, gelangt aber zu dem Resultate, daſs wegen Verzögerung des Verbrennens die Kraft des Schieſspulvers hierdurch auf keine Weise vermehrt wird, indem bei wachsender Menge desselben eine zunehmend gröſsere Quantität Wärme zu seiner Verwandlung in Dampf erforderlich ist, so daſs hieraus selbst eine Schwächung der statt findenden Kraft hervorgeht. Erfahrungen mit eigentlich feuchtem Schieſspulver bestätigen dieses vollkommen. Die Verminderung der Wärme durch die Wandungen wächst auſserdem um so mehr, je langsamer das Verbrennen des Schieſspulvers erfolgt, und muſs schon deswegen sehr bedeutend seyn, weil die Gröſse der Oberfläche, an welche sie im Innern des Geschützes übergeht, durch die allmälige Ausbreitung des Pulvergases stets zunimmt, weswegen die gröſste Kraft im ersten Momente der Entzündung statt findet und der Schnelligkeit, womit diese erfolgt, proportional ist[1]. Hierzu nimmt Prechtl noch den Verlust, welcher durch den sogenannten Spielraum erzeugt wird[2] und nach Hutton's Erfahrungen im Minimum $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$, im Maximum aber $\frac{1}{2}$ betragen soll, und gelangt sonach zu dem Resultate, daſs die Elasticität des Pulvergases 1700 bis 2300 Atmosphären in der Wirklichkeit betrage. Wird hiervon eine Anwendung auf den Wasserdampf als bewegendes Mittel gemacht, so müſste derselbe, um

---

1 Es möge hier in Beziehung auf das ballistische Problem bemerkt werden, daſs zwar aus der allmäligen Ausbreitung des Pulvergases in Folge des hiermit verbundenen Wärmeverlustes eine Verminderung der Wurfkraft nothwendig hervorgeht, von der andern Seite aber ein groſser Vortheil aus dem Umstande erwächst, daſs auf die im ersten verschwindend kleinen Zeitmomente langsamer bewegte Kugel das zunehmend sich expandirende Gas fortdauernd wirkt und dadurch die erzeugte Geschwindigkeit stets zunimmt. Bei instantaner Entwickelung des Pulvergases, wenn diese überhaupt möglich wäre, würde die Trägheit der Kugel eine unüberwindliche Reaction ausüben. Hierin liegt die Ursache, weswegen die Knallsalze, ungeachtet ihrer momentanen Explosion, die Kugeln bei weitem nicht so weit fortzuschleudern vermögen, als das Schieſspulver. Vergl. Art. *Ballistik*. Bd. I. S. 702.

2 Der nicht unbedeutende Verlust durch das Zündloch ist nicht besonders erwähnt worden, versteht sich aber von selbst.

ine gleiche Kraft als das Pulvergas auszuüben, auch eine
leiche Spannung, also im Mittel eine von etwa 2000 Atmo-
phären haben. Hierzu würde aber eine Wärme von 856°,25 C.
ehören, und wollte man auch nur bis 1000 Atmosphären ge-
ıen, so würde dieses doch noch 662°,5 Hitze erfordern, also
nmer eine solche, wobei das Metall glühet, mithin eine solche
'erminderung seiner Cohäsion erleidet, daſs es dem erforder-
ichen Drucke durchaus nicht widerstehen kann. Prechtl setzt
aher 100 Atmosphären als die gröſste erreichbare Elasticität
es Wasserdampfes und rechnet jede höhere Steigerung zu den
ıechanischen Chimären; nach den neuesten französischen Ver-
uchen dürfte, wie schon bemerkt, diese Grenze noch tiefer
erabzurücken seyn. Ohne den ausführlichen Calcül hier wie-
erzugeben, wird es genügen, nur die Resultate herzusetzen.
Venn man voraussetzt, daſs der Dampf mit seiner ganzen Kraft
o lange auf die Kugel wirkt, bis sie die Mündung des Rohres
erläſst, und nicht mit abnehmender Kraft, wie dieses beim
chieſspulvergas der Fall ist, so würde eine Spannung von
9,2 Atmosphären erfordert werden, um der Kugel eine Ge-
chwindigkeit von 1200 Fuſs in der ersten Secunde zu erthei-
en; allein die hierzu erforderlichen Bedingungen sind nicht
virklich vorhanden, denn obgleich der Dampf während seiner
usdehnung aus dem Apparate nachströmt, so entweicht doch
in Theil neben der Kugel, und zum Ersatz des entweichenden
vürde die Bildung von neuem durch zuströmende Hitze er-
ordert werden, die in so kurzer Zeit nicht statt finden kann.
Iach den mitgetheilten Nachrichten soll der bei Perkins's
'ersuchen verwandte Dampf wirklich eine Spannung von 60
tmosphären gehabt haben. Prechtl nimmt es als durch
'erkins erwiesen an, daſs ein Dampfapparat für einen Druck
on 60 Atmosphären hergestellt werden könne, und das schnelle
inbringen der Kugeln, so daſs deren wohl 120 in einer Mi-
ute abgeschossen werden können, würde sich gleichfalls be-
verkstelligen lassen, allein die Unbehülflichkeit der Maschine,
eren Dampfapparat allein 20 Centner wiegt, das vorausgehende
Ieizen u. s. w. machen sie zum Feldgebrauche nicht geeignet,
och dürfte sie auf Schiffen anwendbar seyn. Bessere Dienste,
ıeint Prechtl, könnten guſseiserne, mit einem gemeinschaft-
ichen Behälter communicirende, Röhren leisten, aus denen Ku-
eln durch die in dem Behälter mittelst einer Dampfmaschine

comprimirte Luft geschossen würden; allein Gufseisen würde auf jeden Fall wohl ohne Ausnahme zu porös und rissig seyn, wie unter anderem auch die französischen Akademiker bei ihren Versuchen (§. 534) wahrnahmen, das luftdichte Schliefsen so complicirter Apparate müfste grofsen Schwierigkeiten unterliegen, ihre Wirkung bliebe stets hinter der der Feuerwaffen zurück, und für ihren untergeordneten Effect würden sie zu viel Raum und ihre Bedienung zu viele Zeit erfordern; Gründe genug, warum man sie nicht praktisch eingeführt hat. Die Berechnungen, welche Prechtl für gröfsere Geschütze anstellt, wonach namentlich eine einpfündige Kanone für acht Schüsse in einer Minute, den unvermeidlichen Verlust mitgerechnet, 5,14 Kubikfufs Dampf in einer Secunde erzeugen müfste, die eine dem Feuer ausgesetzte Fläche von 100 Quadratfufs erfordern, zeigen evident, dafs jede Anwendung des Dampfes als ballistisches Mittel im Grofsen für den Felddienst unter die chimärischen Projecte gehört und auch in den Festungen dem Schiefspulver weit nachsteht.

Ueber die praktische Anwendung der mittelst einer Dampfmaschine comprimirten Luft zum Fortschleudern von Geschützkugeln urtheilt Prechtl selbst, dafs ihr unübersteigliche Hindernisse entgegenstehn. Sie liegen hauptsächlich in der Unmöglichkeit, so sehr complicirte Maschinen durchaus luftdicht für eine hierzu erforderliche Compression herzustellen und das Entweichen der Luft neben den Stempeln der Compressionspumpen zu verhüten, wenn man deren Reibung nicht übermäfsig vergröfsern will. Es dürfte hiernach überflüssig seyn, auf die stets wieder erneuerten Vorschläge dieser Art Aufmerksamkeit zu verwenden, da die Hindernisse in der Unausführbarkeit der Hauptbedingungen liegen, wie sinnreich auch sonst ihre Construction seyn mag. Letzteres ist allerdings der Fall bei einem Apparate dieser Art, welchen W. J. Curtis[1] für Schiffe und Festungen, namentlich zur Vertheidigung der Breschen, vorgeschlagen hat. Das Anlockende liegt in der Menge von Kugeln, die in einer kurzen Zeit vermöge des angebrachten Magazins nach Art der tyroler *Windbüchsen*[2] abgeschossen werden können, wobei man aber die Unbehülflichkeit und Unsicherheit der hierzu erforderlichen Maschinen übersieht, und

1 Repertory of Patent - Inventions. T. V. Nr. 26. Jahrbücher des polyt. Instit. T. XIII. p. 289.

2 Vergl. Art. *Windbüchse*.

nicht genugsam die Menge der Kartätschenkugeln würdigt, die weit bequemer gleichfalls in kurzer Zeit zu Gebote stehn, wonach aber, wenn es bloſs hierauf ankäme, bei dem seit vielen Jahren statt gefundenen Gebrauche derselben sicher niemals eine Festung mit Sturm erobert worden wäre.

567) Dampfmaschinen sind in neueren Zeiten vorzugsweise zur Bewegung der in unermeſslicher Zahl vorhandenen groſsen und kleinen Dampfschiffe und Dampfboote angewandt worden. Sie dienen zum Umdrehn der Räder, die durch die Reaction ihrer Schaufeln gegen das Wasser die Schiffe fortstoſsen, oder der Schrauben, die sich durch ihre Umdrehung in das Wasser hineindrängen und die Schiffe mit sich fortreiſsen, oder zum Treiben derjenigen Maschinen, welche vermöge der stets fortschreitenden Technik vermuthlich in diesem Augenblicke schon erfunden worden sind oder im Verlaufe der Zeit noch erfunden werden und nach vorgängiger Prüfung demnächst zur Anwendung kommen werden. Hierüber ins Einzelne einzugehn würde zu weit führen, und ich beschränke mich daher darauf, in dieser Beziehung auf eine Abhandlung des gelehrten und erfahrenen Barlow[1] zu verweisen, welcher die Geschwindigkeit der Dampfboote je nach ihrer Gröſse, der Kraft ihrer Maschinen und den Bedingungen, ob sie mit der Fluth oder gegen dieselbe sich bewegen, sowohl durch Berechnung, als auch nach Versuchen zu ermitteln sich bestrebt hat. Die *Locomotiven* und deren Gebrauch auf Eisenbahnen, die jetzt allgemein in Anwendung kommen, übergehe ich ganz und bemerke nur deren bekannte gröſste Geschwindigkeit. Eine derselben, der Planet, fuhr leer von Liverpool nach Manchester, 30 engl. Meilen, in 45 Minuten. Rechnen wir die engl. Meile zu 1760 Yards, den Yard zu 3 engl. Fuſs, so giebt dieses eine Geschwindigkeit von 55,07 Par. Fuſs in einer Secunde. Die Locomotive Snelheid fuhr zu Amsterdam leer 2000 Ellen in 86 Secunden. Wird die Elle zu 306 Par. Linien gerechnet, so giebt dieses 49,42 Par. Fuſs in einer Secunde. Eine sehr schöne neue Locomotive war zum Probiren der Maschine in die Höhe gehoben worden und die Maschine bewirkte daher bloſs die Umdrehung der Räder. Indem ich die Zahl der Umdrehungen zählte, und die Gröſse der Peripherie

1 Philosoph. Trans. 1834. p. 309. Vergl. eine andere Abhandlung in Dingler's polyt. Journ. Th. XXXII. S. 331.

mafs, ergab sich die Geschwindigkeit eines Punctes der Peripherie sehr nahe 72 Par. Fufs in einer Secunde. Hiernach ist wohl das Maximum der überhaupt möglichen Geschwindigkeit und aus diesen drei Bestimmungen ein Anhaltepunct gegeben, welcher die Geschwindigkeit zu schätzen und mit andern zu vergleichen gestattet[1]. Blofs beiläufig möge hier noch erwähnt werden, dafs man auch gewöhnliche Wagen auf sehr ebenen Strafsen durch Dampfmaschinen zu bewegen gesucht hat, wie dieses namentlich durch Burstall und Hill mit ihrer sogenannten Dampfkutsche geschah, auf deren Erfindung sie ein Patent nahmen[2]. Endlich hat man den Wasserdampf von höherer Temperatur und das am Verdampfen gehinderte, folglich über den Siedepunct erhitzte Wasser, ebenso wie die Dämpfe anderer Flüssigkeiten und diese letzteren selbst, als stark auflösende Mittel in Anwendung gebracht, zu welchem Ende man sich der *Digestoren* bedient. Zu dem, was hierüber gesagt worden ist[3], kann ich nichts Wesentliches weiter hinzusetzen; am wichtigsten dabei ist der dampfdichte Verschlufs, welcher durch etwas mit Unschlitt geschmeidig gemachten Hanf oder Leinenfäden bis zur Verkohlungshitze dieser Substanzen am besten erreicht wird. Verlangt man noch stärkere Hitze, so wüfste ich kein anderes Mittel, als Blei, und wollte man über den Schmelzpunct dieses Metalles hinausgehn, so würde man sich des Goldes bedienen müssen, dessen Kostbarkeit jedoch eine Anwendung nur zu sehr wichtigen Zwecken gestatten dürfte. Im Uebrigen sind verschiedene Constructionen der Digestoren angegeben worden, die jedoch für die jedesmaligen Zwecke sich leicht finden lassen, sobald die Hauptprincipien einmal feststehn[4].

4) Gasbildung; Gasification.

568) Bei weitem die meisten Schriftsteller gestatten keinen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen, bezeichnen beide durch den Namen *Gas*, und diejenigen scheinen sich von der fast allgemein angenommenen Ansicht zu entfernen, die einen Unterschied zwuschen beiden annehmen. Wäre diese Mei-

1 Vergl. Art. *Geschwindigkeit*. Bd. IV. S. 1351.
2 Edinburgh Philos. Journ. N. XXVI. p. 349.
3 S. Art. *Digestor*. Bd. II. S. 544.
4 Vergl. Jahrbücher des polytechn. Instituts. Th. XI. S. 316. Th. XV. S. 205. Laboratorium. Hft. XXXVI.

nung unwidersprechlich und so fest begründet, dafs kein Zwei-
el dagegen statt finden könnte, so dürfte auch neben der Un-
ersuchung der Dampfbildung nicht zugleich von der Gasification
lie Rede seyn, beide wären vielmehr als identisch zu betrach-
en, und wir müfsten annehmen, dafs die Gase auf gleiche
Veise durch Auflösung tropfbarer Flüssigkeiten in Wärme er-
eugt würden, als dieses bei den Dämpfen der Fall ist. Die
rofse Aehnlichkeit beider Arten von Körpern und die un-
weifelhafte Thatsache, dafs verschiedene Gase durch Vermin-
lerung der Temperatur oder Vermehrung des Druckes in tropf-
are Flüssigkeiten verwandelt werden, spricht sehr zu Gunsten
ieser Ansicht, und nach der Vorstellung, die wir uns, aner-
annten Thatsachen gemäfs, von der Wirksamkeit des Wär-
aestoffes machen müssen, können wir nicht wohl umhin, die
xpansion sowohl der Gase, als auch der Dämpfe von der
Värme abzuleiten, wodurch also jeder wesentliche Unterschied
wischen ihnen aufgehoben scheint. Allein aufser dem, was
ierüber bereits gesagt worden ist[1], führt eben die Erzeugung
aancher Gase, verglichen mit der der Dämpfe, zu einem Un-
erschiede beider, den man ehemals nicht unangemessen da-
urch bezeichnete, dafs man die Gase für eine innigere, auch
ine chemische genannte, Verbindung der Körpermolecüle mit
em Wärmestoffe ansah, als die Dämpfe. Wenn z. B. Sauer-
offgas durch Glühen aus Braunstein ausgetrieben wird, so liegt
s sehr nahe bei der Sache, anzunehmen, dafs die hierzu ver-
andte Wärme den Molecülen des Sauerstoffs auf gleiche Weise
xpansion mittheile, als dieses bei der Erzeugung des Dampfes
is Wasser der Fall ist; allein für absolut ausgemacht kann
ieses nicht gelten, denn die Wärme könnte auch auf gleiche
Veise die Verbindung des Sauerstoffgasses mit dem Magnesium
iofs aufheben und eine Trennung beider auf gleiche Weise
ewirken, als dieses bei der durch verschiedene Körper absor-
rten Luft geschieht, ohne dasselbe aus einer Flüssigkeit, wie
ei der Dampfbildung, ganz eigentlich zu erzeugen. Sofern also das
auerstoffgas noch nicht tropfbar-flüssig dargestellt ist, kann auch
icht als ausgemacht gelten, dafs es ursprünglich einer tropfbaren
lüssigkeit zugehöre und durch Erhöhung der Temperatur über dem
nbekannte Siedepuncte derselben genau auf gleiche Weise, als

1 Vergl. Art. *Dampf.* Bd. II. S. 282.

dieses bei dem Dämpfen der Fall ist, gebildet werde. Dennoch aber läfst sich auch kein wesentlicher Unterschied beider auf diese Thatsache gründen; denn auch das kohlensaure Gas wird durch Hitze aus kohlensauren Salzen geschieden und läfst sich dennoch durch vermehrten Druck tropfbar-flüssig darstellen.

569) Von der andern Seite betrachtet bieten sich allerdings Unterschiede dar, die der scharfsinnige Forscher nicht übersehn kann. Zuerst zeigen die eigentlichen Dämpfe überall, von den dünnsten, z. B. des Quecksilbers, bis zu den dichtesten, z. B. des Aethers, des Schwefelkohlenstoffs u. s. w., ein gewisses Verhältnifs zwischen den Temperaturen und den Dichtigkeiten sowohl, als auch den Elasticitäten, welches anderen Gesetzen folgt, als diejenigen sind, die sich bei den Gasen zeigen. Werden die Dämpfe comprimirt, so scheidet sich ein Theil tropfbar-flüssig aus, ohne dafs Elasticität und Dichtigkeit bei gleichbleibender Temperatur eine Aenderung erleiden, was bei den Gasen nie der Fall ist. Man könnte sagen, dieses beruhe blofs auf dem Umstande, dafs wir die permanenten Gase nicht im Zustande ihrer Sättigung kennen und sie also für Dämpfe halten müfsten, die in allen uns zu Gebote stehenden Temperaturen durch Wärme bereits über diesen Punct der Sättigung hinausgerückt seyen; allein so lange wir diesen Zustand der Sättigung oder das Maximum ihrer Dichtigkeit nicht kennen, läfst sich auch nicht mit Gewifsheit behaupten, dafs derselbe vorhanden sey, wenn sich auch immerhin Wahrscheinlichkeitsgründe dafür beibringen lassen. Allerdings sind bereits einige sogenannte permanente Gase durch verstärkten Druck tropfbar-flüssig gemacht worden, allein diese Versuche sind noch nicht genügend zahlreich, und zugleich hat man das Verhalten, welches die so gebildeten Flüssigkeiten zeigen, wegen der dabei obwaltenden Schwierigkeiten noch nicht genugsam geprüft, um mit Sicherheit zu entscheiden, ob dasselbe ganz demjenigen gleich ist, welches wir bei den unter gewöhnlichem Drucke tropfbaren Flüssigkeiten gewahren; vielmehr scheinen sich allerdings hierbei Unterschiede herauszustellen, die jedoch gleichfalls bei weitem noch nicht genügend constatirt sind. Beispielsweise führe ich nur diejenigen Erscheinungen an, welche Thilorier[1] bei der flüssigen Kohlensäure wahrnahm, wenn auch

1 L'Institut 1835. N. 126. p. 357. N. 127. p. 331. Poggendorff's Ann. XXXVI. 141. Vergl. §. 470.

diese Angaben sich nicht mit absoluter Sicherheit verbürgen lassen. Merkwürdig ist schon der Umstand, dafs die flüssige Kohlensäure durch Wärme stärker, als das Gas, ausgedehnt werden soll. Wäre dieses bei allen denjenigen Flüssigkeiten der Fall, aus denen Gase entstehn, so würden diese und demnach mittelbar auch die aus ihnen entstandenen expansiblen Flüssigkeiten sich von denen wesentlich unterscheiden, die sich durch Wärme in Dämpfe verwandeln; jedoch ist ein ähnliches Verhalten bei der schwefligen Säure bis jetzt wenigstens nicht beobachtet worden. Merkwürdig ist ferner die für zunehmende Temperaturen so enorm wachsende Dichtigkeit der über der flüssigen in Dampfform sich befindenden Kohlensäure, denn bei 0° C. beträgt das Volumen, welches einen gegebenen Raum erfüllt, $\frac{1}{12}$ desselben, bei 30° C. aber $\frac{1}{3}$, so dafs also ihre Dichtigkeit durch eine Temperaturerhöhung von 30° C. um das Vierfache wächst, und auf gleiche Weise nimmt auch ihre Elasticität zwischen 0° bis 30° C. von 36 bis 73 Atmosphären zu. Allerdings läfst sich hiergegen sagen, dafs die Kohlensäure, um als Dampf aus der Flüssigkeit gebildet zu werden, schon eines sehr starken Druckes bedarf, und wirklich bedarf auch der Wasserdampf nach einer genäherten Berechnung nur etwa 60° C. Temperaturerhöhung, um im Zustande der Sättigung von der zu 30 Atmosphären gehörigen Elasticität bis zu 73 Atmosphären zu wachsen. Immerhin aber bleibt das Verhalten der festen Kohlensäure ein eigenthümliches, sofern sie, unter atmosphärischem Drucke im festen Zustande existirend, durch Wärmezuflufs von aufsen nicht tropfbarflüssig und dann in Dampf verwandelt wird, sondern unmittelbar zur Expansion übergeht. Dürfen wir annehmen, dafs die Temperatur der festen Kohlensäure durch ihre eigene Verdampfung = — 100° C. ist, so müfste sie nach der Analogie anderer Flüssigkeiten bei unverändertem Drucke einen höher liegenden Schmelzpunct und einen noch höher liegenden Siedepunct haben; allein nach Parry (§. 507) zeigte sich weder das Eine noch das Andere bei einer Temperatur von — 45° C., dennoch aber gewahrte er in dieser Kälte einige weifse Flocken, die wohl nur feste Säure seyn konnten. Unverkennbar merkwürdig sind allerdings die Erscheinungen, welche die Kohlensäure in ihrem dreifachen Aggregatzustande darbietet, namentlich insofern sie hierbei von ungleicher Wärme ist, und mit

tropfbaren Flüssigkeiten vereint zur Expansion übergeht. Verdienen Mitchell's[1] Versuche volles Vertrauen, so brachte flüssige Kohlensäure beim Festwerden die Temperatur auf — 65° C.; würde aber dem Wasserdampfe oder dem Dampfe irgend einer sonstigen Flüssigkeit unter einem Drucke von etwa 60 Atmosphären plötzlich freie Expansion gestattet, so würde sicher die vorhandene tropfbare Flüssigkeit hierdurch nicht in Eis verwandelt werden. Die gröfste, durch die Bildung des kohlensauren Gases aus der festen Kohlensäure an freier Luft erzeugte Kälte ging bis — 78° C., und selbst dann, wenn die Verflüchtigung durch Einwickeln in Baumwolle bedeutend verzögert wird, findet kein Uebergang zum Flüssigkeitszustande statt. Wird die Verdampfung der festen Kohlensäure durch Wegnahme der Luft unter der Luftpumpe gesteigert, so geht bei einer äuferen Temperatur von 30° C. die Kälte bis — 93°,5 herab. Feste Kohlensäure mit Alkohol erzeugte eine Kälte von — 76° C., durch Gegenblasen erhöht ging sie bis — 79° und unter der Luftpumpe bis — 92°,25, mit Aether aber unter der Luftpumpe bis — 99° C. herab, mithin noch tiefer, als durch eigene Expansion für sich allein. Das Verhalten anderer, durch hohen Druck tropfbar gemachter Gase ist entweder gar nicht oder noch keineswegs genügend untersucht worden, und wir wissen nicht, welche Unterschiede ihres Verhaltens gegen das anderer Dämpfe sich hierbei zeigen könnten. Dagegen kennen wir noch einen Körper, welcher weit auffallender, als die Kohlensäure, aus dem Zustande der Starrheit unmittelbar und mit Ueberspringung des tropfbar-flüssigen Zustandes in den der Gasform übergeht, nämlich den Salmiak, welcher, unter gewöhnlichem Drucke und selbst im Vacuum fest, durch Hitze in Gas verwandelt wird, ohne eine Zersetzung zu erleiden. So viel ich weifs, hat man noch nicht versucht, dieses Gas durch starke Compression oder hohe Kältegrade tropfbar-flüssig zu machen, möglich ist es aber, dafs es sich hierbei ebenso, als die Kohlensäure, verhalten würde. Wäre aber das Verhalten aller Gase und Dämpfe vollkommen identisch, so müfsten wir Eis, feste Kohlensäure und Salmiak in Parallele setzen können, alle drei müfsten durch Temperaturerhöhung, wenn auch durch ungleiche, tropfbar-flüssig und dann expansibel werden; allein ein solcher

1 Silliman Amer. Journ. T. XXX. p. 352.

vollständiger Parallelismus ist nach meiner Ansicht nicht wirklich vorhanden, und so lange dieser fehlt, ist ein Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen nicht gänzlich in Abrede zu stellen. Immerhin ist vielmehr das Verhalten der Gase, die eines höheren Druckes zum Uebergange in den Flüssigkeitszustand bedürfen, ein anderes, als das der Dämpfe, die schon unter gewöhnlichem Drucke in diesen Zustand übergehn.

Es giebt jedoch Gase, die unter gewöhnlichem Drucke und bei mittleren Temperaturen als permanent elastisch erscheinen, dennoch aber durch bloſse Anwendung hoher Kältegrade den normalen Uebergang zur Tropfbarkeit zeigen, und deren Elasticität dann ganz nach Art der Dämpfe mit steigender Wärme zunimmt. Auſser dem, was hierüber (oben §. 507) bereits mitgetheilt worden ist, verdienen hauptsächlich noch diejenigen Resultate beachtet zu werden, welche Bunsen[1] aus seinen neuerdings angestellten Versuchen erhalten hat. Dieser brachte in ein Glasrohr ein Manometer, zog das Rohr in zwei feine Spitzen an beiden Enden aus, legte es in einen Trog mit Kältemischung, wodurch er die Temperatur bis — 50° C. herabbrachte, füllte dasselbe mit dem ausgetrockneten Gase, welches sich darin bis zur tropfbaren Flüssigkeit verdichtete, schmolz die Spitzen des Rohres zu und maſs die der steigenden Wärme zugehörige Elasticität mittelst des Manometers. Nur mit vier Gasen gelang ihm dieses Verfahren, und sie gaben die in folgender Tabelle enthaltenen Resultate, wobei die Elasticitäten in Metern angegeben sind, also 0,76 Meter den Siedepunct bezeichnen.

1 Poggendorff's Ann. XLVI. 97.

Temperatur	Elasticitäten. Schweflige Säure	Cyan	Ammoniak
— 33°,7 C.	. . . . .	. . . . .	0,749 Met.
— 30	. . . . .	. . . . .	. . . . .
— 25	. . . . .	. . . . .	. . . . .
— 20	. . . . .	0,80 Met.	. . . . .
— 15	. . . . .	1,10 —	. . . . .
— 10	0,78 Met.	1,41 —	. . . . .
— 5	1,11 —	1,73 —	3,04 —
0	1,48 —	2,07 —	3,61 —
+ 5	1,91 —	2,44 —	4,26 —
+ 10	2,39 —	2,88 —	4,98 —
+ 15	2,93 —	3,33 —	5,78 —
+ 20	3,54 —	3,80 —	6,67 —
+ 25	4,20 —	. . . . .	. . . . .

Auch die Elasticität des kohlensauren Gases über dem liquiden ist durch Mitchell[1] gemessen worden, ohne dafs ich jedoch anzugeben vermag, welches Vertrauen diese Versuche verdienen. Hiernach ist dieselbe bei 0° C. = 32 Atmosphären, bei 7°,22 = 45, bei 18°,89 = 60, bei 30° C. = 72 Atmosphären.

Mögen wir uns hiernach für berechtigt halten, die sogenannten permanenten Gase als identisch mit den Dämpfen zu betrachten oder einen Unterschied zwischen beiden anzunehmen, immerhin ist mindestens im höchsten Grade wahrscheinlich, dafs beide ihren Expansionszustand durch die Wärme erhalten und diese demnach als Ursache desselben gelten kann. Kommt es aber auf die Beantwortung der Frage an, auf welche Weise die Wärme den Expansionszustand herbeiführe und wie sich dieselbe dem Wesen nach hierbei verhalte, so ist darüber bereits das Erforderliche gesagt worden[2], und die Hypothesen, welche Herapath[3] in dieser Beziehung aufstellt, dürften zu wenig Befriedigung gewähren, um genauer erörtert zu werden.

1 Silliman Amer. Journ. T. XXXV. p. 354.

2 S. Art. *Gas, Wesen der Gasform.* Bd. IV. S. 1048 ff.

3 Annals of Philos. New Ser. N. I bis IV. p. 197. Vergl. 1826. Dec. p. 466.

5) Chemische Wirkungen der Wärme.

570) In einem eigenen Abschnitte war oben (§. 117) von : Wärmeerzeugung durch Chemismus ausführlich die Rede. s den dort angeführten Thatsachen geht hervor, dafs durch :mische Verbindungen, die nicht mit den kälteerzeugenden sungen zu verwechseln sind, bei gleichzeitig statt findender rdichtung, selbst aber auch Verdünnung, Wärme frei wird, raus der innige Zusammenhang zwischen dem Chemismus l der Wärme hervorgeht. Hierbei ist aber die Wärme das :eugte, das Hervorgerufene; hier dagegen, wo von den Wir-ıgen der Wärme die Rede ist, mufs diese die Ursache seyn, lche chemische Verbindungen erzeugt. Auch hiervon war zu-ilen beiläufig die Rede, und es ist allzubekannt, wie oft die emiker von Verbindungen reden, die nur bei gewissen hö-en Temperaturen oder, wie es heifst, in der Hitze erzeugt rden. Da diese aber zunächst in das Gebiet der Chemie ge-ren, es überhaupt zu weit führen würde, alle die Fälle auf-:ählen, in denen die Trennungen und Verbindungen der Kör- durch Wärme möglich gemacht und erleichtert werden, hier :rhaupt nur von der Aufstellung der allgemeinen physikali-en Gesetze die Rede seyn kann, so wird es genügen, blofs spielsweise zu erwähnen, wie unter anderem das Eisen nur ch die Glühhitze vermocht wird, sich mit dem Sauerstoff atmosphärischen Luft zu verbinden, das Wasser zu zerle-, den Schwefel im Zinnober vom Quecksilber zu trennen s. w., wegen des Ganzen aber dahin zu verweisen, wo diese fgabe bereits genügend untersucht worden ist[1].

Die *Erzeugung des Lichtes durch Wärme* in den glü-den Körpern oder die Erregung der Lichtwellen wollen wir ht in einem eigenen Abschnitte aufführen, da man gewohnt , die Strahlen der leuchtenden Wärme mit den Lichtstrahlen identisch oder genau zusammenfallend zu betrachten, und r das Verhältnifs zwischen Licht und Wärme oben in den schnitten, worin der Ursprung der Wärme und ihr Verhal- erörtert wurden, ausführlich gehandelt worden ist.

---

1 S. Art. *Verwandtschaft*. Bd. IX. S. 1869 u. 2023.

6) Erhaltung und Beförderung des vegetabilischen und animalischen Lebensprocesses.

571) Wie durch den Chemismus Wärme erzeugt und umgekehrt chemische Verbindungen durch Wärme bedingt werden, ebenso ist dieses auch in Beziehung auf den Lebensprocefs der Fall. Wollen wir da, wo es sich um allbekannte Dinge handelt, unnöthige Weitläuftigkeit vermeiden, so genügt es, zuvor nur kurz zu bemerken, dafs die Wärme im Allgemeinen die Möglichkeit des vegetabilischen und animalischen Lebensprocesses bedingt, denn bei absoluter Abwesenheit sowohl, als bei übermäfsiger Intensität derselben hört er gänzlich auf, da es schon Puncte auf der Erde giebt, wo alles vegetabilische Leben gänzlich erstorben ist, und nur wenige Classen von Animalien sich meistens in und auf dem wärmeren Meereswasser zu erhalten vermögen, von der anderen Seite aber hohe Grade der Hitze, wenn sie nur den Siedepunct des Wassers erreichan, alle diejenigen Verbindungen der Körper zerstören, die des Lebensprocesses fähig sind. Die Wärme steht aber mit dem Lebensprocesse in noch näherer ursächlicher Verbindung, indem es eine gewisse mittlere Stärke derselben giebt, die am geeignetsten ist, den Ursprung, das Wachsen und das Gedeihen des vegetabilischen Lebens zu befördern, während über die Grenzen dieses mittleren Zustandes hinaus sowohl durch Vermehrung als auch durch Verminderung der Wärme ihre vortheilhafteste Wirksamkeit abnimmt und zuletzt verschwindend in Zerstörung übergeht. Die Pflanzenwelt erträgt allerdings weit leichter höhere Wärmegrade, als die Thiere, und doch erstreckt sich dieses nur auf einige Species; dagegen widerstehn die Animalien leichter einer intensiveren Kälte, wenn sie gegen den unmittelbaren Einflufs derselben durch genügende Bekleidung geschützt sind. Inzwischen ist dieser Gegenstand in Beziehung auf die Vegetabilien bereits an zwei Orten, wo er nothwendig berücksichtigt werden mufste, bei der Untersuchung des *Klima's*[1] und der *Temperatur*[2], genügend untersucht worden,

---

1 S. Art. *Klima.* Bd. V. S. 895.

2 S. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 354. Unter vielen andern ist eine interessante Abhandlung über diesen Gegenstand die von Baer über die Verbreitung des organischen Lebens im Recueil des Actes de la

ınd rücksichtlich der Animalien gab die Untersuchung der thie-
rischen Wärme eine schickliche Gelegenheit, hierüber zu han-
leln. Daneben aber verdient dieser Gegenstand auch in der
besonderen Beziehung die Aufmerksamkeit des Beobachters, als
n den auf der höchsten Stufe irdischer Wesen stehenden Ani-
nalien Ursache und Wirkung weise gegen einander abgewogen
ind, indem diese die zu ihrer Existenz erforderliche Wärme aus
ich selbst produciren. Bei den minder vollkommen organi-
irten Thierclassen ist dieses weniger der Fall, sofern bei ihnen
m Winterschlafe die erforderliche Wärmeproduotion abnimmt,
leichzeitig hiermit aber auch die Intensität ihres Lebenspro-
esses. Der vollendetste Organismus zeigt sich dagegen bei
en Menschen, sofern diese, besser als alle übrige Thiere, den
Einflüssen der verschiedensten Temperaturen widerstehn. Bei
hnen, wie bei den warmblütigen Thieren überhaupt, verdient
ndlich auch der Umstand bewundernde Beachtung, dafs nach
inem höchst merkwürdigen Naturgesetze die Production und
Consumtion der Wärme sich insofern das Gleichgewicht halten,
ls eine nachtheilige Anhäufung sowohl, als auch Entziehung
nnerhalb gewisser Grenzen nicht statt finden. Becquerel und
Breschet[1] (§. 198) stellten mit ihrem thermoelektrischen Ap-
arate, der zugleich mit einem Sorel'schen verbunden war, eine
Reihe von Versuchen an, aus denen diese Beständigkeit der
menschlichen Wärme augenfällig herhvorging. Das Innere der
Mundhöhle, wenn man die eine Löthstelle der vereinten Drähte
n diese brachte, die andere aber in Wasser von bestimmter
Wärme senkte, fanden sie zum Messen der animalischen Wär-
me sehr geeignet. Wurde der Arm eines Menschen in Wasser
wischen 0° und 10° C. getaucht, so änderte sich die Wärme
es Biceps binnen einer Stunde nicht merklich, und ebenso
venig war dieses der Fall, wenn er in Wasser von 42° C.
esenkt war. Safs der Mensch 20 Minuten in einem Bade von
9° C., so stieg die Wärme des Muskels nur um 0°,2 bis
°,4, und auch dann, als die Löthstelle neben einer Vene ein-
esteckt war, aus welcher durch Venensection Blut gelassen
vurde, sank die Temperatur nicht merklich.

éance publique de l'Acad. Imp. des Sciences de St. Petersb. 1839.
. 145 ff.

1 Compt. Rend. 1838. Avr. 9.

7) Wirkungen der Wärme auf Magnetismus und Elektricität.

572) Der innige Zusammenhang der Wärme mit elektrischen, magnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen ist eine sehr bekannte und in diesem Werke bereits häufig berührte Thatsache, weswegen es im Ganzen genügen wird hierauf zu verweisen. Wollen wir die Hauptpuncte hier nochmals bezeichnen, so möge zuvor bemerkt werden, dafs nach der Ansicht einiger Physiker Magnetismus und Elektricität ihrem Wesen nach identisch sind, welche Ansicht wir zwar nicht theilen, inzwischen ist der Unterschied dieser Meinungen hier auf jeden Fall von keiner Bedeutung und möge nur zur Rechtfertigung dienen, wenn wir die Wirkungen der Wärme auf den Magnetismus von denen trennen, die sie auf die Elektricität ausübt.

Der Einflufs der Wärme auf den Magnetismus ist in einem eigenen Abschnitte[1] ausführlich erörtert worden und die zahlreichen Untersuchungen führen im Ganzen zu dem Resultate, dafs die magnetische Kraft künstlicher Stahlmagnete, wie auch die Anziehung des Eisens durch Wärme vermindert, durch Glühhitze aber gänzlich aufgehoben wird. Diese Thatsache darf wohl als unerschütterlich feststehend gelten, ob aber auf gleiche Weise anzunehmen ist, dafs die magnetische Kraft mit der Verminderung der Temperatur fortdauernd wachse, wenn man zu Graden sehr intensiver Kälte übergeht, ist wohl noch nicht auf gleiche Weise constatirt, mindestens spricht eine interessante Beobachtung von Ross[2] dagegen, wenn anders der darauf gebauete Schlufs richtig ist. Derselbe liefs zu Fury-Bay 12 Magnetnadeln zurück und fand, als er sie bei seiner Rückkehr wieder untersuchte, ihre magnetische Kraft gänzlich verschwunden, was er der strengen Kälte beimifst, welcher sie während der längeren Zeit ausgesetzt waren. Die Frage verdient durch wiederholte Versuche näher erörtert zu werden.

573) Ungleich bekannter und weit wichtiger ist die Wirkung, welche die Wärme auf die Erregung und das Verhalten der Elektricität bei verschiedenen Körpern äufsert. Seit den

---

1 S. Art. *Magnetismus.* Bd. VI. S. 836.

2 Appendix to a second Voyage cet. p. CIX.

ältesten Zeiten ist bekannt, dafs die zur Reibungselektricität lienenden Apparate durch Erwärmung für ihren Zweck weit geeigneter werden. Genau genommen ist dieses wohl auschliefslich die Folge der besseren Isolirung, denn auch die esten sogenannten idioelektrischen Körper zeigen zuweilen gar keine Elektricität, sobald ihr Feuchtigkeitszustand eine gewisse Grenze erreicht[1], abgesehn davon, dafs die feuchte Luft die Elektricität zu sehr zerstreut, nicht genügend isolirt, daher ihre Spannung hindert und zuletzt gänzlich aufhebt. Der Hauptsahe nach dürfen wir unbedenklich hierbei stehn bleiben; denn esetzt auch es sey durch Becquerel's und meine eigenen Versuche[2] erwiesen oder mindestens wahrscheinlich gemacht, afs die Wärme in allen Körpern Spuren von Elektricität herorrufe, so sind diese doch auf jeden Fall zu schwach, als afs sie der durch Reibungsmaschinen erzeugten eine mefsbare Gröfse hinzusetzen könnten. Ferner kannte man schon seit eraumer Zeit die sogenannte *Krystallelektricität*, die zuerst m *Turmalin* wahrgenommen wurde, und welcher daher ein gener Artikel gewidmet ist[3].

Die Aufgabe in ihrem ganzen Umfange und in ihrer eientlichen Wesenheit, sofern es sich um die Erregung der lektricität sowohl im Turmalin, als auch in sonstigen Kryallen handelt, namentlich um die Beziehung derselben zur age der Axen und zur Krystallform derselben, kann hier nicht ır Untersuchung kommen, wo zunächst von den Wirkungen

1 Wenn ich bei meinen Versuchen in Poggendorff's Ann. XXII. 8 bemerkte, dafs einige Feuchtigkeit die erzeugte Thermoelektricit zu verstärken scheine, so steht dieses mit dem bekannten nacheiligen Einflusse der Feuchtigkeit nicht im Widerspruche; denn erstch ist dabei von einem stark feuchten Zustande nicht die Rede, und eitens sind jene elektrischen Erregungen so schwach, dafs sie für essungen der Maschinenelektricität gänzlich verschwinden.

2 Vergl. §. 471 und die daselbst befindlichen Nachweisungen. cquerel geht in dieser Beziehung wohl zu weit, wenn er in Traité périmental de l'Électricité et du Magnétisme. Par. 1840. T. VI. 251 sagt: *La chaleur et l'électricité dérivant du même principe, ivant toutes les apparences, et manifestant souvent leur action en ême temps etc.*, im Allgemeinen aber läfst sich seit der Entdeckung r Thermoelektricität der innige Zusammenhang beider nicht vernnen.

3 S. Art. *Turmalin*. Bd. IX. S. 1088.

der Wärme die Rede ist, und wir müssen uns daher begnügen, nur die vorzüglichsten Arbeiten, wodurch unsere Kenntniſs dieses Problems neuerdings erweitert worden ist, im Allgemeinen anzuzeigen. An die bereits genannten gründlichen Untersuchungen von Brewster[1] und Becquerel[2] schlieſst sich eine mehr beschränkte von Köhler[3] an, welche sich auf den Turmalin, das Kieselzinkerz und den Boracit bezieht. Bloſs dem Turmalin gewidmet ist eine ausführliche Abhandlung von G. Rose[4], welche jedoch zunächsr die Bestimmung seiner Krystallform und deren verschiedene Modificationen, zugleich aber das hiermit in genauester Verbindung stehende thermoelektrische Verhalten desselben berücksichtigt. Nach einer groſsen Zahl von Versuchen läſst sich die Art der Elektricität, welche die beiden Enden der Turmalinkrystalle durch Erwärmung und Wiederabkühlung annehmen, auch ohne Versuche aus der Krystallform im voraus bestimmen, indem die Flächen des gewöhnlich vorkommenden dreiseitigen Prisma's und des Rhomboëders hierfür einen Anhaltepunct darbieten. Das Ende der Turmalinkrystalle, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Flächen des dreiseitigen Prisma's aufgesetzt sind, wird bei abnehmender Temperatur negativ, also bei zunehmender positiv elektrisch; dasjenige Ende dagegen, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prisma's aufgesetzt sind, wird bei abnehmender Temperatur positiv, bei zunehmender also negativ. Uebrigens ist die Stärke der Elektricität keineswegs bei allen gleich, sondern wechselt von sehr groſser Intensität bis zu kaum wahrnehmbaren Spuren. Starke Elektricität zeigen solche Krystalle, die im Innern rein und nicht klüftig sind, also einen muschligen Bruch haben. Dahin gehören die hellgefärbten und durchsichtigen Krystalle, welche die schwarzen und undurchsichtigen in dieser Beziehung weit übertreffen. Inzwischen scheinen noch andere unbekannte Bedingungen mitzuwirken, indem unter den schwarzen manche zwar sehr rein, dennoch aber nur schwach

1 S. Art. *Turmalin.* Bd. IX. S. 1094. Die Abhandlung findet man auch in Poggendorff's Ann. II. 297.

2 S. Art. *Turmalin.* Bd. IX. S. 1097.

3 Poggendorff's Ann. XVII. 146.

4 Ebend. XXXIX. 285.

elektrisch sind[1]. Einen schätzbaren Beitrag zur Erweiterung unserer Kenntniſs der Krystallelektricität hat P. Erman[2] geliefert. Dieser untersuchte zuerst den *Marekanit*, und fand dabei die sonderbare Eigenschaft, daſs derselbe bald durch Reiben auf Tuch elektrisch wurde, bald gar keine Spur von Elektricität zeigte und in dieser Veränderlichkeit anscheinend ohne irgend einen Grund wechselte. Letzterer lag aber nach entscheidenden und unzweideutigen Versuchen in dem Einflusse der ungleichen Temperatur, wonach diese Krystalle, sowohl die hellen, als auch die trüben, unter 15° vollständig leitend sind, über dieser Temperatur aber zu isoliren anfangen und bei 30° in vollkommene Isolatoren übergehn. Der Gedanke lag sehr nahe, daſs ihr Leitungsvermögen bei geringerer Wärme eine Folge vorhandener Feuchtigkeit sey, die bei höherer schwinde, allein directe Versuche bewiesen die Unzulässigkeit dieser Voraussetzung. Eben diese Eigenthümlichkeit zeigte sich auch mehr oder weniger entschieden bei den *Obsidianen*, bei vielen *Laven* und im hohen Grade beim *Dichroit*; vermuthlich aber liegt in der hierdurch erzeugten Unsicherheit der Grund, weswegen die Mineralogen auf das elektrische Verhalten der Fossilien, als Kennzeichen, keinen hohen Werth legen. Nach Erman ist diese Eigenthümlichkeit sehr paradox, da das bis zum Glühen erhitzte Glas die Elektricität leitet; allein es ist mindestens höchst wahrscheinlich, daſs dieses bei den genannten Fossilien gleichfalls sich zeigen würde, was jedoch nicht ausschlieſst, daſs bis 15° über 0 Leitung statt findet, denn aus dem oben erwähnten und anderweitig allgemein bekannten Verhalten des Glases ist wohl unzweifelhaft, daſs die Isolirungsfähigkeit desselben gleichfalls mit zunehmender Temperatur von 0° anfangend wächst, wenn sie auch bei geringer Wärme nicht ganz aufhört, beim Glühen desselben aber gar nicht mehr vorhanden ist. Der *Turmalin* wird nach Erman's Versuchen unter gehöriger Behandlung durch Reiben polarisch-elektrisch, und in Beziehung auf seine Thermoelektricität fand er die bisher beobachteten Erscheinungen dem

1 Die Versuche von Forbes, die man auch in London and Edinburgh Philos. Magaz. N. XXVI. p. 133 findet, sind bereits erwähnt worden.

2 Aus Berliner Denkschriften für 1829 in Poggendorff's Ann. XXV. 607.

Wesen nach bestätigt. Der *Topas* bot anfangs sehr von einander abweichende Resultate dar, nach fortgesetzter genauer Prüfung aber wird der brasilianische Topas ohne allen Einfluſs der Reibung oder Berührung durch Wärmeänderung elektrisch, und zwar bestimmt polarisch, jedoch mit der Anomalie, daſs die negative Elektricität in der Axe und den hiermit parallelen Linien statt findet, die entgegengesetzte positive aber ihre Richtung senkrecht auf die Axe und ihren Sitz überall an der perimetrischen Oberfläche aller Seitenflächen hat. Dieses Verhalten läſst sich, so wie die Elektricität des *Boracits*, am besten prüfen, wenn man einem feinen Bohnenberger'schen Elektrometer einen sehr kleinen Teller giebt, den Krystall darauf legt, und eine der Flächen oder Ecken, die der aufliegenden gegenüber stehn, ableitend berührt, wodurch dieser ihre Elektricität entzogen, die ihr gegenüberstehende aber frei und durch das Elektrometer meſsbar wird. In den sogleich folgenden Untersuchungen werden übrigens die beim Topase wahrgenommenen Abweichungen anders erklärt.

574) Vorzugsweise auf die Bestimmung sowohl derjenigen sämmtlichen Krystalle, welche durch Temperaturveränderungen elektrisch werden, als auch der Eigenthümlichkeiten ihres Verhaltens, welche sich in dieser Hinsicht zeigen, bezieht sich eine ausführliche Abhandlung von W. Hankel[1], deren wesentlicher Inhalt hier mitgetheilt zu werden verdient. Zum Messen der erzeugten Elektricität diente ein Bohnenberger'sches Elektrometer, dessen beide Säulen auf zwei Kupferblechen ruhten, die mittelst dünner, durch das Glasgefäſs hindurchgehender, mit Knöpfchen versehener Stängelchen übereinander verschiebbar waren, um die Säulen einander der schwächeren Spannung angemessen mehr zu nähern. An den Stift des Elektrometers, von welchem das Goldblatt herabhängt, wurde ein feiner, von einer umsponnenen Guitarrensaite genommener, gewundener Draht befestigt und dessen anderes Ende nach gehöriger Isolirung entweder mit dem Krystalle in Berührung gebracht, oder meistens mit einem kleinen messingnen Tischchen verbunden, auf welchem der Krystall und zugleich die

---

1 Dissert. de Thermoelectricitate crystallorum. Hal. 1839. Poggendorff's Ann. XLIX. 493. Quaestionis de thermoelectricitate crystallorum P. altera. Hal. 1840. Poggendorff's Ann. L. 237. 471. 605.

Kugel eines Thermometers lag, welche beide durch eine untergestellte Weingeistlampe eine gleiche Temperatur erhielten. Die untersuchten Krystalle sind folgende:

a) *Zucker*, dessen Elektricität BREWSTER zuerst wahrnahm. Beim Erwärmen desselben wächst sein polares Verhalten mit der Zunahme der Temperatur, bis letztere nicht mehr rasch fortschreitet, worauf sich die Pole umkehren, nachdem sie vorher durch 0 gegangen sind, und bei fortgesetzter Abkühlung zuerst schwache, dann aber stärkere Wirkungen zeigen, bis auch diese entgegengesetzte verschwindet, bei wieder beginnender Hitze aber wieder zur ersteren übergeht. Kommt der Krystall zum Schmelzen, so verschwindet alle Elektricität.

b) *Weinsäure* zeigt beim ersten Erwärmen zuweilen keine Elektricität, verhält sich aber später fast ganz ebenso, wie der Zucker.

c) *Weinsaures Kalinatron* darf wegen leichter Schmelzbarkeit nicht stark erwärmt werden, zeigt aber gleichfalls Polarität.

d) Beim *Kieselzinkerz* zeigte das verwachsene Ende —, + El., beim *Axinit* und *Prehnit* dagegen +, — El., vom *Mesotyp* aber zeigten selbst einzelne Nadeln beide Elektricitäten.

e) Die Versuche mit verschiedenen *Turmalinen* gaben im Ganzen eine Bestätigung dessen, was ROSE gefunden hat, jedoch meint HANKEL, sie zeigten insgesammt, auch die schwarzen und undurchsichtigen, deutlich wahrnehmbare Spuren von Elektricität, jedoch einige erst dann, wenn sie nach dem Erwärmen sich wieder abkühlen. Wenn PRIESTLEY behauptet, daſs durch Drücken eines isolirt gehaltenen Krystalles die von ihm beim Abkühlen angenommene Elektricität in die entgegengesetzte übergehe, so soll dieses davon herrühren, daſs nicht sowohl das Drücken, als vielmehr die Berührung, die zugleich mit jedem beliebigen leitenden Körper geschehen kann, die vorhandene ableite und die entgegengesetzte bestimme, sich über den ganzen Krystall zu verbreiten, worauf dann nach einiger Zeit die weggenommene wieder zum Vorschein komme. Dieses zeigt sich noch auffallender, wenn man den Krystall auf einen isolirten, mit dem Elektrometer verbundenen Leiter stellt und die Flächen des unteren Endes ableitend berührt, in welchem Falle das Elektrometer die Elektricität des oberen an-

giebt. PRIESTLEY fand ferner bei ungleich erwärmten Turmalinen zuweilen beide Enden gleichnamig elektrisch, und BECQUEREL[1] glaubt, daſs in diesem Falle nur eine Elektricität vorhanden sey, aber nur so lange, bis die entgegengesetzte durch hinlängliche Erwärmung hervorgerufen werde, weil aber HANKEL zu oft eine sofortige Umkehrung der Pole wahrnahm und nicht wahrscheinlich erachtete, daſs die geringste Temperaturerhöhung sogleich eine Umkehrung der Pole des erkalteten Krystalls herbeiführe, so schloſs er, daſs die Elektricität des kälteren Endes, wenn sie der des anderen sich abkühlenden gleich ist, durch Erwärmung erzeugt werde, in welchem Falle dann in der Mitte die entgegengesetzte Elektricität vorhanden seyn muſste, was auch der Versuch, jedoch mit folgender Modification, vollkommen bestätigte. War das erhitzte Ende beim Abkühlen positiv, so gelang es, die positive Elektricität am andern Ende gleichfalls hervorzurufen, und die Mitte zeigte dann negative, die sich durch Ableitung der an beiden Enden befindlichen bedeutend verstärken lieſs. War aber das beim Erkalten negative Ende das heiſsere, so zeigte es beim Herausnehmen aus der Flamme negative Elektricität; doch waren die nächsten Theile bereits positiv, und positive Elektricität zeigte sich über den ganzen Krystall verbreitet.

f) Die *Topas-Krystalle* sind gewöhnlich am einen Ende zerbrochen, und werden in der Art elektrisch, daſs das ausgebildete Ende beim Erwärmen —, beim Abkühlen + Elektricität zeigt. Das von P. ERMAN (§. 573) wahrgenommene anomale Verhalten soll eine Folge des Umstandes seyn, daſs der Krystall häufig sowohl beim Erwärmen, als auch beim Erkalten positive Elektricität vorherrschend zeigt, sobald er auf einer Seite liegt. Bei einem sibirischen Exemplare zeigten sich die ersten Spuren der Thermoelektricität durch eine Erwärmung bis 40°, selten aber traten beide Elektricitäten deutlich hervor, und dieses Fossil scheint daher weniger zur Polarität geneigt, bleibt aber lange Zeit elektrisch.

g) Am *Titanit* konnte HAUY kaum Spuren von Elektricität entdecken, HANKEL brachte es aber so weit, daſs das Goldblättchen anschlug. Am einfachsten läſst sie sich wahrnehmen, wenn man die Krystalle auf einen isolirten, mit dem Elektrometer verbundenen Leiter legt, wobei man 4 elektrische

1 Traité d'Élect. et du Magnét. T. II. p. 64.

Pole P, P', y, y' entdeckt, und also entweder zwei parallele, oder zwei sich kreuzende Axen vorhanden seyn müssen, jene mit entgegengesetzten, diese mit gleichnamigen Polen. Genauere Untersuchungen zeigen aber, dafs die erste Voraussetzung die richtige sey, und dafs zwei parallele Axen mit ungleichnamigen Polen an beiden Enden anzunehmen sind; denn y' mit Y' und P mit Y zeigen sich stets entgegengesetzt lektrisch.

h) Eine ausführliche Mittheilung der in 46 Versuchsreihen rhaltenen Resultate über die Erregung und den Wechsel der lektricität des *Boracits* würde zu viel Raum erfordern, und s wird also genügen, zu bemerken, dafs auch bei diesem Fosde die Wärme Elektricität hervorruft, und zwar so, dafs die urch Temperaturerhöhung hervorgerufene durch Temperaturerminderung in die entgegengesetzte übergeht, das polarische 'erhalten also keinem Zweifel unterliegt.

i) Sehr merkwürdig in vorliegender Beziehung ist der *Quarz*, indem derselbe drei elektrische Axen mit entgegengeetzten Polen hat und demnach auf den 6 Prismenflächen die rei positiven mit den drei negativen abwechseln. Vielleicht iebt es aufserdem noch eine vierte schwächere in der Riching der Hauptaxe. Häufig verschwindet jedoch nach der Lage er Krystalle der eine oder der andere Pol, was dann auf die brigen einen Einflufs ausübt. Wird z. B. durch die Unterlage in negativer Pol abgeleitet, so überwiegt überall die positive lektricität, und wenn diese die noch übrigen zwei Pole nicht u vernichten vermag, so schwächt sie dieselben wenigstens. ine Vergleichung der Vertheilung der Elektricität beim Bergrystall mit der beim Turmalin und die Berücksichtigung ihrer ptischen Verschiedenheit führt zu der Vermuthung, dafs zwihen ihren optischen und elektrischen Axen ein Zusammenhang att finde.

575) Von der Erregung der Elektricität durch Wärme, der gentlich sogenannten *Thermoelektricität*[1], ist bereits in einem

1 Man redet sowohl von *Thermoelektricität*, als auch von *Thermoagnetismus*, allein die erste Bezeichnung ist wohl unzweifelhaft die chtige, denn der erzeugte Strom ist ohne Widerrede ein elektrither, die Identität der Elektricität und des Magnetismus aber wegen er Verschiedenheit ihrer Aeufserungen unzulässig, wenn sich gleich

eigenen Artikel[1] ausführlich gehandelt worden, und es können daher hier nur einige nachträgliche Bemerkungen aufgenommen werden. Diese stehn aber gerade mit der Wärme im nächsten Zusammenhange. Wir erwähnen eine hierauf bezügliche Aeuſserung von Draper[2], wonach die Thermoelektricität mit zunehmender Temperatur zwar wachsen soll, aber nur unbedeutend. Wäre diese Behauptung richtig, so würde aus ihr nothwendig folgen, daſs eine Messung der Temperatur mittelst der Gröſse der Ablenkung der Magnetnadel durch den thermoelektrischen Strom unzulässig seyn müſste, denn diese setzt voraus, daſs die Tangente des Abweichungswinkels der Temperatur direct proportional sey. Es scheint überflüssig zu seyn, auf eine Widerlegung dieses Satzes einzugehn, nachdem wir so oft die Messungen der Temperaturen mittelst des Thermomultiplicators in den bisherigen Untersuchungen als durch ein genügend genaues Meſsinstrument geschehn erwähnt haben und überhaupt die thermomagnetischen Thermometer als eigene, den Forderungen durch ihre Genauigkeit genügende Apparate anerkannt werden[3]. Inzwischen wollen wir, auſser dem, was hierüber bereits gesagt worden ist[4], die zur Erledigung dieser Frage gehörigen Versuche von Becquerel[5] hier mittheilen. Dieser senkte von den beiden Löthstellen zweier Metalldrähte die eine in schmelzenden Schnee, die andere in heiſses Wasser, maſs die Ablenkung der Magnetnadel des Thermomultiplicators, mit dessen Enden die Drahtenden der thermoelektrischen Kette verbunden waren, bestimmte hieraus die Intensitäten des elektrischen Stromes, und verglich diese mit den berechneten, woraus folgende Resultate hervorgingen.

---

beide, ebenso wie Elektricität und Wärme, stets vereint finden und sich wechselseitig bedingen.

1 S. Art. *Thermoelektricität*. Bd. IX. S. 731.

2 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. CV. p. 451.

3 Vergl. Art. *Thermometer*. Bd. IX. S. 998.

4 S. Art. *Thermoelektricität*. Bd. IX. S. 781.

5 Ann. de Chim. et Phys. T. XLI. p. 353. T. XLVI. p. 316. Schweigger's Journ. LVII. 311.

Vereinte Metalle	Temperatur d. Löthstelle	Ablenkung d. Nadel	Intensitäten d. Stromes gefundene	Intensitäten d. Stromes berechnete
Eisen und Silber . .	40° C.	52°	76	76
	30	45	56,76	57
	20	40	33	38
	10	27	18,80	19
Eisen und Kupfer . .	40	—	—	80
	30	48	50,92	60
	20	41	40,70	40
	10	28	20	20
Kupfer und Platin .	40	41	40,40	40
	30	36	30,23	30
	20	28	20,10	20
	10	18	10	10
Silber und Zinn . .	40	—	—	—
	30	48	59,92	60
	20	41	40,70	40
	10	28	20	20
Kupfer und Silber . .	40	34	27,20	26,84
	30	28	20	20,13
	20	22	13,30	13,42
	10	13	6,60	5,71

Dafs in sehr hohen Hitzegraden leicht Abweichungen von diesem Gesetze der Proportionalität eintreten, ist bereits erwähnt worden.

Als eine interessante Zugabe zu dem, was bisher über die Combinationen der Metalle zu thermoelektrischen Ketten bekannt war, möge hier noch eine Entdeckung Poggendorff's[1] erwähnt werden. Dieser fand, dafs eine Verbindung aus Eisen und Neusilber (Packfong) die aus Platin und Eisen ersetzt, wenn es um die Messung starker Hitzegrade zu thun ist, ja dafs sie dieser wegen ihrer Wohlfeilheit noch vorzuziehn, zugleich aber empfindlicher ist. Das Neusilber ist nach Seebeck[2] in der thermoelektrischen Reihe ein sehr positiver Körper, folgt gleich auf Wismuth und Nickel und steht daher über dem Platin. Wirklich übertrifft eine solche Kette auch die aus Eisen und Platin hinsichtlich der Stromstärke bedeutend, wovon Poggendorff selbst sich durch eine Vergleichung mit Hülfe

1 Poggendorff's Ann. L. 250.
2 Ebend. VI. 155.

eines sogenannten Differential-Galvanometers überzeugte. Minder wichtig ist eine ältere Bemerkung von Nordenskiold[1]. Hiernach umwindet man einen Stab Antimon von 8 Zoll Länge und 0,5 Zoll Dicke an seinen beiden Enden mit den beiden Enden eines Messingdrahtes und erhält durch Erhitzung des einen Endes sogleich Spuren elektrischer Strömung. Hiernach würde also bloſse genaue Berührung heterogener Metalle zur Erzeugung eines elektrischen Stromes durch Erwärmung genügen, statt daſs man dieselben gewöhnlich zusammen zu löthen pflegt. In welchem Verhältniſs der Stärke beide Methoden zu einander stehn, ist, so viel ich weiſs, auf jeden Fall noch nicht genügend untersucht worden.

Endlich wollen wir zum Beschluſs noch die Bemerkung hinzufügen, daſs Hansteen[2] selbst die Ursache der *täglichen magnetischen Oscillationen* im Thermomagnetismus sucht. Diese Ansicht eines um die Erscheinungen des tellurischen Magnetismus so hoch verdienten Gelehrten dient sehr zur Unterstützung der Hypothese, wonach der tellurische Magnetismus überhaupt als das Resultat desjenigen elektrischen Stromes abgeleitet wird, welchen der tägliche Umlauf der Sonne und die Erwärmung durch ihre Strahlen auf unserer Erde erzeugen soll, wonach also der tellurische Magnetismus nichts anderes als Thermomagnetismus wäre.

Nachtrag zur specifischen Wärmecapacität.

Ueber die specifische Wärme der Körper ist oben im 4ten Abschnitt der Abtheilung E. das Erforderliche mitgetheilt worden, und ich habe mich bemüht, den Hauptinhalt der darüber bekannt gewordenen Untersuchungen zusammenzustellen. Zu den wichtigsten derselben gehören diejenigen, wodurch Victor Regnault diesen Zweig bedeutend erweitert hat und von denen daher (oben §. 427 fgg.) ausführlich gehandelt wurde. Ebenderselbe hat seitdem eine zweite, ebenso reichhaltige und wichtige Abhandlung bekannt gemacht[3], welche die von ihm gefun-

---

1 Annals of Philos. New Ser. T. IV. p. 318.

2 Magaz. for Naturvitenskaberne. T. II. p. 108.

3 Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. I. p. 129. Das Mspt. war bereits zum Druck abgesandt, als mir diese Abhandlung bekannt wurde, deren Inhalt aber zu wichtig ist und mit dem der früheren in

lenen Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten zusammengesetzter Körper enthält. Das früher gewählte Verfahren er Mischungen brachte er auch hierbei in Anwendung, doch st in Beziehung auf die untersuchten Körper Folgendes zu berücksichtigen. Einige derselben hat man bloſs in Pulverform, nd diese ist für die Versuche sehr unbequem. Wird das Pulver it Wasser zu einem Teige gemacht und dieser calcinirt, so rhält man zuweilen Stücke, die unmittelbar in die kleinen Körbchen gelegt werden können, allein sie ziehn dann leicht 'euchtigkeit an und entbinden nach Pouillet's Versuchen §. 118) Wärme, wodurch die Resultate fehlerhaft werden. Die Ienge der auf diese Weise freiwerdenden Wärme für jede einelne Substanz zu bestimmen würde groſse Schwierigkeiten geabt haben, Regnault ermittelte aber, daſs der Einfluſs, welhen diese auf die specifische Wärme haben konnte, 0,034 der tzteren nicht überstieg, und er nahm daher bei den Bestimungen hierauf gehörige Rücksicht. Allerdings könnte man iese Substanzen in hermetisch verschlossene Gefäſse mit sehr ünnen Wandungen einschlieſsen, allein da diese dann sehr ngsam erkalten, so würde man dadurch noch gröſsere Fehler erbeiführen. Man könnte auch die Substanzen mit einer hininglichen, gemessenen Quantität Wasser benetzen und diese in echnung nehmen; allein dann würde die specifische Wärme er Pulver nur ein Bruchtheil derjenigen des sie benetzenden Vassers seyn und dadurch noch mehr Ungewiſsheit herbeigeihrt werden. Die Salze ziehn zu leicht Feuchtigkeit aus der tmosphäre an, als daſs sie selbst in Gestalt zusammengeballter rocken zu diesen Versuchen geeignet seyn sollten; es war daer vorzuziehn, sie in einem Platintiegel zu einer einzigen aste zusammenzuschmelzen und dann die noch heiſse Oberäche mit einer sehr dünnen Schicht Oel zu überziehn, deren ewicht verschwindend klein ist, die aber dennoch genügt, die euchtigkeit eine kurze Zeit abzuhalten, um das Gewicht zu estimmen. Allerdings erfolgt dann die Abkühlung der gröſseen Masse etwas langsamer, allein der hieraus hervorgehende inluſs ist nicht sehr bedeutend. Für einige sehr zerflieſsliche alze, z. B. chlorsaures Zink, genügt dieses Mittel nicht; man

---

u genauem Zusammenhange steht, als daſs er in diesem Werke fehen dürfte, weswegen ich ihn hier nachträglich hinzufüge.

mufs sie daher schmelzen und in eine am einen Ende verschlossene Glasröhre giefsen.

Regnault machte sich vorläufig mit den Untersuchungen anderer Gelehrten über diese nämliche Aufgabe bekannt. Dahin gehören vorzüglich die oben (§. 441 fgg.) mitgetheilten von Avogadro, wobei er jedoch auf eine nähere Prüfung der aus ihnen vermeintlich hervorgehenden allgemeinen Gesetze nicht eingeht, und die gehaltreichen, oben (§. 433) gleichfalls ausführlich erörterten, von Neumann. In Beziehung auf diese letzteren bemerkt er, dafs die untersuchten Körper solche zusammengesetzte sind, wie sie in der Natur vorkommen, wovon der gröfste Theil wegen ihrer complexen Zusammensetzung und bei der statt findenden Ungewifsheit hierüber zur Auffindung allgemeiner Gesetze nicht geeignet scheint. Ob aber der Einwurf gegen die durch Neumann gefundenen Gesetze, dafs die Zahl der Versuche zu ihrer Begründung zu gering sey, mehrere derselben Resultate liefern, die sich zu weit von den berechneten entfernen oder sich auf Zusammensetzungen beziehn, deren chemisches Mischungsverhältnifs nicht scharf genug bestimmt sey, und dafs endlich sehr von einander abweichende Bestimmungen gefunden, von diesen aber die gerade für die Hypothese passenden gewählt seyen, als genügend begründet gelten könne, darüber wage ich nicht zu entscheiden; die bekannte Sorgfalt und Zuverlässigkeit des Experimentators sichert auf jeden Fall gegen den Verdacht eines Mangels an Genauigkeit. Ueber die neuesten Arbeiten von Marcet und de la Rive bemerkt Regnault blofs, dafs sie noch fortgesetzt werden. In Beziehung auf seine eigene vorliegende Abhandlung bemerkt er, man werde sich aus den erhaltenen Resultaten bald überzeugen, dafs die hier untersuchten festen und flüssigen Körper sich nicht auf eine sichere Weise zur Bestimmung der Verhältnisse eignen, welche zwischen der specifischen Wärme dieser Zusammensetzungen und der ihrer Elemente statt finden. Hierüber beabsichtigt er demnächst eigene Untersuchungen anzustellen, wenn er die Bestimmungen der specifischen Wärme gasförmiger Körper beendigt haben wird.

Die untersuchten Körper bilden fünf Gruppen, deren erste Verbindungen der Metalle begreift. Hierzu gehören zuerst die *Alliagen*. Vor allem wurde dafür gesorgt, reine Metalle zu

rhalten, sie in Pulverform, wenn dieses nöthig schien, zu mengen, in einem Tiegel zu schmelzen, dann stark umzurühren und lurch Ausschütten auf einen kalten Körper schnell erstarren u machen. Die Verbindung war allgemein nach dem einfahen Atomverhältnisse. Es verdienen zugleich zwei Classen on Alliagen unterschieden zu werden, zuerst diejenigen, deren chmelzpunct beträchtlich über dem Siedepuncte des Wassers iegt, und solche, die schon bei 100° C. oder sogar noch unter lieser Temperatur schmelzen, auf jeden Fall bei dieser Wärme veich werden. Diesen Unterschied zu beachten ist deswegen vichtig, weil die Körper bei den Versuchen bis 100° C. erwärmt verden und also ihr Schmelzen oder Weichwerden auf ihre Värmecapacität einen Einfluſs haben kann. Zu dieser Gruppe ehören dann zweitens auch die *Amalgame*, wovon das Nämche gilt.

Die zweite Gruppe bildeten die *Oxyde*. Hierhin gehören leiprotoxyd, wozu reines, in einem Platintiegel wenig gechmolzenes, Mennig diente, und Silberglätte, bis zum Dunkelothglühen erhitzt, die in Glasröhren eingeschlossen wurde.)ie untersuchten Körper waren ferner: rothes Quecksilberoxyd, us dem salpetersauren durch gehörige Hitze hergestellt; Mananoxydul (*Protoxide de Manganèse*), aus dem Hyperoxyd urch starkes Glühn erhalten; schwarzes Kupferoxyd, durch alcinirung des salpetersauren Kupfers in kleinen, hinlänglich arten Brocken gewonnen; Nickeloxydul, auf gleiche Weise ereitet, welches aber beim Aufsaugen des Wassers einige Värme entwickelte, so daſs die gefundene Wärmecapacität vohl etwas zu groſs sein kann; Magniumoxyd und Zinkoxyd.)er Versuch aber, die Wärmecapacität des Baryum-, Strontiumnd Calcium-Oxyds zu bestimmen, miſslang, weil diese Subtanzen selbst durch das Aufsaugen des Terpentinspiritus Wärme ntwickeln. Die genannten Oxyde gehören zu derjenigen Classe, ie durch RO bezeichnet wird. Ueber diejenige Classe von)xyden, die durch R^2O^3 bezeichnet werden, ergeben die mit Kolothar angestellten Versuche, daſs die Wärmecapacität des Eienoxyds (*Peroxide de fer*) durch Calcination abnimmt und uletzt derjenigen gleich kommt, welche der natürliche Eisenglanz zeigt. Die glasige arsenige Säure sog etwas Wasser auf, llein dieses hatte auf die Bestimmung der Wärmecapacität keien Einfluſs, denn der Versuch, mit Terpentinspiritus angestellt,

gab ganz gleiche Resultate. Ueber die Oxyde, die zur Classe RO^3 gehören, finde ich nichts der besondern Beachtung werthes angegeben.

Zur dritten Gruppe werden die Schwefelverbindungen (*Sulfures*) gerechnet, und zwar die zu den Classen RS, R^2S^3, RS^2, R^2S gehörigen und die complexen, wobei ich aber im Einzelnen nichts besonders zu beachtendes bemerkt finde. Die vierte Gruppe bilden nach Regnault die Chlorverbindungen (*Chlorures*), und zwar die zu den Classen R^2Cl^2, RCl^2, RCl^4, R^2Cl^6 gehörenden, ferner die Bromverbindungen (*Bromures*) der Classen R^2Br^2, RBr^2, die Iodverbindungen (*Iodures*) der Classen R^2I^2, RI^2 und die Fluorverbindungen (*Fluorures*) der einzigen Classe RFl^2. Zu bemerken ist hierbei, daſs das angewandte Clormangan aus einer zur Trockne abgedampften Solution im Wasser erhalten worden war, indem der Rückstand in einem Platintiegel nach Zusatz von etwas Clorwasserstoffsäure geschmolzen wurde. Aller Sorgfalt ungeachtet lieſs sich jedoch eine partielle Zersetzung nicht vermeiden, denn als die Masse im Wasser gelöst wurde, blieb ein meſsbarer Rückstand, und die erhaltene Bestimmung kann daher nur als eine approximative gelten. Beim bromsauren Natron wurde erst nach dem Versuche entdeckt, daſs etwas kohlensaures vorhanden war, und das erhaltene Resultat ist daher etwas zu groſs. Das Iodkupfer (*Protoiodure de cuivre*), durch doppelte Zersetzung bereitet und dann in einem Platintiegel geschmolzen, gab zwei sehr von einander abweichende Resultate, was jedoch erst bemerkt wurde, als die Substanz bereits weggeworfen war. In der fünften und letzten Gruppe werden die *Salze* vereinigt, nämlich die salpetersauren $Az^2O^5+R^2O$ und Az^2O^5+RO, die chlorsauren $Cl^2O^5+R^2O$, die phosphorsauren $P^2O^5+2R^2O$ (*Pyrophosphates*); P^2O^5+2PbO; P^2O^5+RO (*Métaphosphates*), die arseniksauren $Ar^2O^5+R^2O$; Ar^2O^5+3RO, die schwefelsauren SO^3+R^2O; SO^3+RO, die chromsauren, die boraxsauren $B^2O^6+R^2O$; B^2O^6+RO; $B^2O^6+2R^2O$; B^2O^6+2RO, die scheelsauren, die Silicate und die kohlensauren CO^2+R^2O; CO^2+RO. Bemerkt ist hierbei, daſs das phosphorsaure Blei durch doppelte Zersetzung erhalten wurde, indem zu einer Lösung des phosphorsauren Natrons eine Lösung von essigsaurem Blei gesetzt, das Präcipitat mehrmals mit Wasser gekocht, auf dem Filtrum gewaschen und endlich in ei-

nem Platintiegel geschmolzen ward. Um beim doppeltarseniksauren Kali eine Zersetzung zu vermeiden, ward der dasselbe enthaltende Tiegel sofort nach dem Schmelzen vom Feuer entfernt. Die Bereitung des arseniksauren Bleies geschah durch Verbindung einer Auflösung des arseniksauren Natrons mit einer solchen des essigsauren Bleis; auf gleiche Weise wurde das schwefelsaure Blei aus der Zersetzung des essigsauren durch Schwefelsäure und der schwefelsaure Strontian aus der Zersetzung des salpetersauren durch Schwefelsäure erhalten. Endlich dienten zur Erhaltung des boraxsauren Bleis das Zusammenschmelzen gewöhnlicher Boraxsäure mit Silberglätte in einem Platintiegel, so wie zur Erzeugung des boraxsauren Kali's und Natrons das Zusammenschmelzen der erforderlichen Mengen Boraxsäure mit kohlensaurem Kali oder Natron in einem gleichen Tiegel.

Es scheint mir unnöthig, die einzelnen durch Regnault gefundenen Gröſsen, aus denen er die specifischen Wärmecapacitäten abgeleitet hat, hier mitzutheilen, vielmehr wird es genügen, die von ihm tabellarisch zusammengestellten Endresultate aufzunehmen, weil zu erwarten steht, daſs diese einer künftig aufzufindenden Theorie als Grundlage dienen können. Die nachfolgende Tabelle ist durch sich selbst verständlich, nur muſs bemerkt werden, daſs die angegebenen Atomgewichte diejenigen sind, die im Allgemeinen als die richtigen angenommen werden, wobei ich die Genauigkeit der Angaben zu prüfen auſser Stande bin. Endlich bedarf es kaum der Bemerkung, daſs, wie oben, die spec. Wärme des Wassers als Einheit angenommen worden ist, die Producte aber diejenigen Gröſsen bezeichnen, die man durch die Multiplication der spec. Wärme in die Atomgewichte erhält.

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
Erste Gruppe. Metallische Verbindungen.				
1 At. Blei, 1 At. Zinn . .	0,04058 0,04087	0,04073	1014,9	41,34
1 At. Blei, 2 At. Zinn . .	0,04526 0,04487	0,04506	921,7	41,53
1 At. Blei, 1 At. Antimon	0,03877 0,03882	0,03880	1050,5	40,76
1 At. Wismuth, 1 At. Zinn	0,04024 0,03977	0,04000	1032,8	41,31
1 At. Wismuth, 2 At. Zinn	0,04500 0,04507	0,04504	933,7	42,05
1 At. Wismuth, 2 At. Zinn, 1 At. Antimon	0,04674 0,04567	0,04621	901,8	41,67
1 At. Wismuth, 2 At. Zinn, 1 At. Antimon, 2 At. Zink	0,05701 0,05612	0,05657	735,6	41,61
1 At. Blei, 2 At. Zinn, 1 At. Wismuth	0,04512 0,04439	0,04476	1023,9	45,83
1 At. Blei, 2 At. Zinn, 2 At. Wismuth	0,06077 0,06087	0,06082	1085,2	66,00
1 At. Quecksilber, 1 At. Zinn	0,07235 0,07353	0,07294	1000,5	72,97
1 At. Quecksilber, 2 At. Zinn	0,06591	0,06591	912,1	60,12
1 At. Quecksilber, 1 At. Blei	0,03824 0,03829	0,03827	1280,1	48,99
Zweite Gruppe. Oxyde.				
A. Oxyde RO.				
Bleioxyd, gepulvert . . .	0,05117 0,05119	0,05118	1394,5	71,34
geschmolzen . .	0,05096 0,05074 0,05097	0,05089	1394,5	70,94
Quecksilberoxyd	0,05149 0,05210	0,05179	1365,8	70,74
Manganoxydul	0,15635 0,15768	0,15701	445,9	70,01
Kupferoxyd	0,14201	0,14201	495,7	70,39
Nickeloxyd	0,16278 0,16190	0,16234	469,6	76,21
calcinirt . . .	0,15890 0,15880	0,15885	469,6	74,60
Magniumoxyd	0,24394	0,24394	258,4	63,03
Zinkoxyd	0,12378 0,12657 0,12301 0,12582	0,12480	503,2	62,77

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
B. Oxyde R^2O^3.				
isenoxyd (*fer oligiste*) .	0,16658 0,16754 0,16672	0,16695	978,4	163,35
(Kolkothar wenig calcin.)	0,17569	0,17569	978,4	171,90
(. . . mehr calc.)	0,17167	0,17167	978,4	168,00
(. . . stark calc.)	0,16921 0,16707	0,16814	978,4	164,44
rsenige Säure	0,13072 0,12624 0,12663 0,12696	0,12786	1240,1	158,56
hromoxyd	0,18083 0,17809 0,17990	0,17960	1003,6	180,01
Vismuthoxyd	0,06163 0,06065 0,06042	0,06053	2960,7	179,22
ntimonoxyd	0,09111 0,08983 0,08932	0,09009	1912,9	172,34
lumium (Demanthspath) .	0,19762	0,19762	642,4	126,87
(Sapphir) . . .	0,21863 0,21895 0,21440	0,21732	642,4	139,61
C. Oxyde RO^2.				
innsäure	0,09382 0,09328 0,09268	0,09326	935,3	87,23
itansäure (künstlich) . .	0,17227 0,17101	0,17164	503,7	86,45
(Rutil)	0,17028 0,17036	0,17032	503,7	85,79
ntimonige Säure	0,09579 0,09431 0,09596	0,09535	1006,5	95,92
D. Oxyde RO^3.				
cheelsäure	0,07963 0,08003	0,07983	1483,2	118,38
olybdänsäure	0,13705 0,12775	0,13240	898,5	118,96
ieselsäure	0,19196 0,19045 0,19163	0,19132	577,5	110,48

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
Boraxsäure	0,23872 0,23615	0,23743	436,0	103,52
E. Complexe Oxyde.				
Magneteisen	0,16686 0,16872	0,16780	1417,6	237,87

Dritte Gruppe. Sulfüren.

A. Sulfüren RS.

Magnetkies	0,13532 0,13674 0,13570 0,13504	0,13570	540,4	73,33
Schwefelnickel	0,12804 0,12820 0,12814	0,12813	570,8	73,15
Schwefelkobalt	0,12581 0,12443	0,12512	570,0	71,34
Schwefelzink	0,12305 0,12300	0,12303	604,4	74,35
Schwefelblei	0,05086 0,05107 0,05065	0,05086	1495,6	76,00
Schwefelquecksilber	0,05137 0,05149 0,05067 0,05116	0,05117	1467,0	75,06
Einfach Schwefelzinn	0,08408 0,08322	0,08365	936,5	78,34

B. Sulfüren $R^2 S^3$.

Schwefelantimon	0,08462 0,08344	0,08403	2216,4	186,21
Schwefelwismuth	0,06038 0,05965	0,06002	3264,2	195,90

C. Sulfüren RS^2.

Schwefelkies (doppelt Schwefeleisen)	0,12927 0,13079 0,12969 0,13061	0,13009	741,6	96,45
Doppelt Schwefelzinn	0,11788 0,12076	0,11932	1137,7	135,66
Schwefelmolybdän	0,12337 0,12172 0,12493	0,12334	1001,0	123,46

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atomgewicht	Product
D. Sulfüren $R^2 S$.				
chwefelkupfer	0,12165 0,12121 0,12068	0,12118	992,0	120,2
chwefelsilber	0,07467 0,07411 0,07533 0,07419	0,07460	1553,0	115,86
E. Complexe Sulfüren.				
agnetkies	0,16095 0,15948	0,16023	...	...
Vierte Gruppe. Chlorüren, Bromüren, Iodüren, Fluorüren.				
A. Chlorverbindungen $R^2 Cl^2$.				
hlornatrium	0,21362 0,21440	0,21401	733,5	156,97
hlorkalium	0,17448 0,17142	0,17295	932,5	161,19
alb-Chlor-Quecksilber . .	0,05213 0,05196	0,05205	2974,2	154,80
infach-Chlor-Kupfer . .	0,13929 0,13725	0,13827	1234,0	156,83
hlorsilber	0,09084 0,09157 0,09086	0,09109	1794,2	163,42
B. Chlorverbindungen $R Cl^2$.				
lorbaryum	0,08891 0,09023	0,08957	1299,5	116,44
lorstrontium	0,11972 0,12008	0,11990	989,9	118,70
lorcalcium	0,16453 0,16385	0,16420	698,6	114,72
lormagnium	0,19460	0,19460	601,0	118,54
lorblei	0,06623 0,06643 0,06656	0,06641	1737,1	115,35
ppelt-Chlorquecksilber .	0,06957 0,06821	0,06889	1708,4	117,68
lorzink	0,13618	0,13618	845,8	115,21
ppelt-Chlorzinn . . .	0,10192 0,10131	0,10161	1177,9	119,59
lormangan	0,14335 0,14175	0,14255	788,5	112,51

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
C. Flüchtige Chloride RCl^4.				
Doppelt-Chlorzinn	0,14705 0,14813	0,14759	1620,5	239,18
Doppelt-Chlor-Titan	0,18675 0,19028 0,18732	0,19145	1188,9	227,63
D. Flüchtige Chloride $R^2 Cl^6$.				
Dreifach-Chlor-Arsenik . .	0,17478 0,17603 0,17730	0,17604	2267,8	399,26
Dreifach-Chlor-Phosphor .	0,21114 0,20730	0,20922	1720,1	359,86
A. Bromüren $R^2 Br^2$.				
Bromkalium	0,11347 0,11297	0,11322	1468,2	166,21
Bromsilber	0,07278 0,07422 0,07473	0,07391	2330,0	173,31
Bromnatrium	0,13872 0,13812	0,13842	1269,2	175,65
B. Bromüren RBr^2.				
Bromblei	0,05393 0,05357 0,05243 0,05313	0,05326	2272,8	121,00
A. Iodüren $R^2 I^2$.				
Iodkalium	0,08199 0,08114 0,08203 0,08248	0,08191	2068,2	169,38
Iodnatrium	0,08701 0,08667	0,08684	1869,2	162,30
Halb-Iod-Quecksilber . .	0,03967 0,03930	0,03949	4109,3	162,34
Iodsilber	0,06147 0,06158 0,06173	0,06159	2929,9	180,45
Halb-Iodkupfer	0,06580 0,07159	0,06869	2369,7	162,81
B. Iodüren RI^2.				
Iodblei	0,04269 0,04274 0,04258	0,04267	2872,8	122,54
Iodquecksilber	0,04115 0,04176 0,04301	0,04197	2844,1	119,36

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
Fluorüren RFl^2.				
Fluorcalcium . . . . . . calcinirt	0,21458 0,21456 0,21562 0,21686	0,21492	489,8	105,31
Fünfte Gruppe. Salze.				
A. Salpetersaure $Az^2O^5 + R^2O$.				
Salpeters. Kali	0,23746 0,24004	0,23875	1266,9	302,49
Salpeters. Natron	0,27856 0,27786	0,27821	1067,9	297,13
Salpeters. Silber	0,14352	0,14352	2128,6	305,55
Salpetersaure $Az^2O^5 + R^2O$.				
Salpeters. Baryt	0,15212 0,15244	0,15228	1633,9	248,83
B. Chlorsaure Salze $Cl^2O^5 + R^2O$.				
Chlorsaures Kali	0,20990 0,20922	0,20956	1532,4	321,04
C. Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 2R^2O$ (*Pyrophosphates*).				
Phosphors. Kali	0,19179 0,19025	0,19102	2072,1	395,79
Phosphors. Natron	0,22868 0,22798	0,22833	1674,1	382,22
Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 2RO$.				
Phosphors. Bleioxyd	0,08150 0,08265	0,08208	3681,3	302,14
Metaphosphorsaure Salze $P^2O^5 + RO$.				
Metaphosphors. Kalk	0,19822 0,20025	0,19923	1248,3	248,64
Phosphorsaure Salze $P^2O^5 + 3RO$.				
Anderthalb-phosphors. Bleioxyd	0,07951 0,08013	0,07982	4985,8	397,96
D. Arseniksaure Salze $Ar^2O^5 + R^2O$.				
Arseniksaures Kali	0,15696 0,15357 0,15840	0,15631	. . .	. . .
Arseniksaure Salze $Ar^2O^5 + 3PbO$.				
Arseniksaures Blei	0,07231 0,07329	0,07280	5623,5	409,37
E. Schwefelsaure Salze $SO^3 + R^2O$.				
Schwefels. Kali	0,19034 0,18987	0,19010	1091,1	207,40
Schwefels. Natron	0,23143 0,23087	0,23115	892,1	206,21

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atom-gewicht	Product
Schwefelsaure Salze $SO^3 + RO$.				
Schwefels. Baryt	0,11293 0,11276	0,11285	1458,1	164,54
Schwefels. Strontian . . .	0,14331 0,14227	0,14279	1148,5	164,01
Schwefels. Blei	0,08734 0,08711	0,08723	1895,7	165,39
Schwefels. Kalk	0,19656	0,19656	857,2	168,49
Schwefels. Magnesia . . .	0,22159	0,22159	759,5	168,30
F. Chromsaure Salze.				
Chromsaures Kali	0,18493 0,18517	0,18505	1241,7	229,83
Doppelt-chroms. Kali . .	0,18899 0,18975	0,18937	1893,5	358,67
G. Boraxsaure Salze $B^2O^6 + R^2O$.				
Boraxsaures Kali	0,21932 0,22018	0,21975	1461,9	321,27
Boraxsaures Natron . . .	0,23758 0,23888	0,23823	1262,9	300,88
Desgleichen $B^2O^6 + RO$.				
Boraxsaures Blei	0,11441 0,11377	0,11409	2266,5	258,60
Desgleichen $B^2O^6 + 2R^2O$.				
Boraxsaures Kali	0,20551 0,20405	0,20478	1025,9	219,52
Boraxsaures Natron . . .	0,25683 0,25734	0,25709	826,9	212,60
Desgleichen $BO^6 + 2RO$.				
Boraxsaures Blei	0,09004 0,09088	0,09046	1830,5	165,54
H. Scheelsaure Salze.				
Wolfram	0,09738 0,09823	0,09780	. . .	. . .
I. Silicate.				
Zirkon	0,14561 0,14555	0,14558	. . .	. . .
K. Kohlensaure Salze $CO^2 + R^2O$.				
Kohlensaures Kali . . .	0,21563 0,21683	0,21623	865,0	187,04
Kohlensaures Natron . . .	0,27261 0,27289	0,27275	666,0	181,65

Substanzen	Specif. Wärme	Mittel	Atomgewicht	Product
Desgleichen	$CO^2 + RO$.			
sland. Doppelspath	0,20737			
	0,21078			
	0,20750			
	0,20865	0,20858	631,0	131,61
	0,20942			
	0,20829			
	0,20793			
rragonit	0,20934			
	0,21020			
	0,20806	0,20850	631,0	131,56
	0,20769			
	0,20720			
Veifser sal. Marmor . . .	0,21656			
	0,21465			
	0,21571	0,21585	631,0	136,20
	0,21710			
	0,21522			
rauer sal. Marmor . . .	0,21016 0,20963	0,20989	631,0	132,45
Veifse Kreide	0,21401 0,21569	0,21485	631,0	135,57
ohlens. Baryt	0,11008 0,11068	0,11038	1231,9	135,99
ohlens. Strontian	0,14539 0,14428	0,14483	922,3	133,58
ohlens. Eisen	0,19386 0,19303	0,19345	714,2	138,16
ohlens. Blei	0,08596	0,08596	1669,5	143,55
olomit	0,21661 0,21824	0,21743	582,2	126,59

ie beiden letzten Substanzen waren etwas unrein.

Regnault läfst auf die Erzählung seiner Versuche noch inige Betrachtungen folgen, die für die Theorie von Wich-gkeit sind und hier nicht übergangen werden dürfen. Zuerst eigen sich bei Körpern von ähnlicher chemischer Zusammen-etzung sehr übereinstimmende Producte ihrer Atomgewichte in ie specifischen Wärmen, wie sich durch den blofsen Anblick er tabellarischen Zusammenstellung von selbst herausstellt. etrachten wir zuerst in der ersten Abtheilung die Metallver-indungen, so zeigen diejenigen, deren Schmelzpunct hoch über em Siedepuncte des Wassers liegt, die nämlichen Producte rer specifischen Wärme in das Atomgewicht, als die Metalle

selbst; liegt aber ihr Schmelzpunct niedriger, so wächst um so mehr dieses Product, als sie bei geringerer Wärme schmelzen oder mindestens weich werden. In der zweiten Abtheilung weicht unter den Oxyden mit einem Atome Sauerstoff bloſs das Nickeloxyd von den übrigen ab, weil es wegen seiner Lockerheit Wasser einsog, eine Eigenschaft, die es durch stärkeres Calciniren schon zum Theil verlor. Gilt dieses als Grund der Abweichung, so sind bei diesen Oxyden *die specifischen Wärmecapacitäten ihren Atomgewichten umgekehrt proportional*, ein Gesetz, welches sich bei allen gleichartigen Verbindungen zeigt. Eine Ausnahme hiervon machen die Bittererde und das Zinkoxyd, welche beide einen vollständigen Isomorphismus zeigen und diese Analogie auch hier beibehalten. Die unter der Reihe B vereinten Oxyde zeigen weniger Uebereinstimmung; wenn man aber berücksichtigt, daſs das Chromoxyd wegen seiner Lockerheit Wasser einsog, wodurch seine specifische Wärme zu groſs wurde, und wenn man den Demantspath und Sapphir ausschlieſst, so fallen die gröſsten Abweichungen weg. Auch bei den unter C und D vereinten Oxyden zeigt sich im Ganzen dieses Gesetz, mindestens läſst sich nicht verkennen, daſs diejenigen Oxyde, welche zu einer und derselben chemischen Formel gehören, sich unter dieses Gesetz bringen lassen, die hervortretenden Abweichungen aber hält Regnault vorzüglich für Folgen des ungleichen Aggregatzustandes; denn daſs auch dieser einen Einfluſs auf die specifische Wärme habe, geht unverkennbar aus der Veränderung derselben hervor, die durch ihre Calcination hervorgerufen wird. Unter den zur dritten Gruppe vereinten Schwefelverbindungen zeigen die unter A genannten das Gesetz sehr augenfällig, von den übrigen kann man weiter nichts sagen, als daſs ähnliche Verbindungen auch mehr oder minder ein gleiches Verhalten ihrer specifischen Wärmecapacitäten zeigen. Ebendieses findet nach Regnault auch bei den Verbindungen der vierten Gruppe statt, vorausgesetzt, daſs die Gründe, die ihn veranlaſsten, die genannten Substanzen zu vereinigen, als genügend erscheinen. Vergleicht man die Resultate der fünften Gruppe unter einander, so führt auch dieses zu einem ähnlichen Resultate, welches auf folgende Weise ausgedrückt werden kann: *Bei zusammengesetzten Körpern, welche das nämliche elektronegative Element enthalten und gleiche Mengen der Atome in sich vereinigen, stehn die spe-*

fischen Wärmecapacitäten im umgekehrten Verhältnifs der tomgewichte. Allerdings ist dieses Gesetz nicht absolut scharf nd stimmt nicht vollständig mit der Erfahrung überein, allein e Abweichung beträgt nur etwa $\frac{1}{10}$ oder höchstens $\frac{1}{8}$. Es ssen sich endlich auch diejenigen Verbindungen unter einander ergleichen, welche verschiedene elektronegative Elemente entalten, und es zeigt sich dann bei diesen gleichfalls eine gewisse Uebereinstimmung, die zu folgendem Gesetze führt: *Bei llen zusammengesetzten Körpern, in denen gleiche Atomiengen vereinigt und welche von einer ähnlichen chemischen Zusammensetzung sind, stehn die specifischen Wärmecapacitäten im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte.* Das ben vielfach ventilirte *Dulong'sche Gesetz* kann als ein dem ben genannten allgemeinen speciell zugehöriges betrachtet weren, die Erfahrung bestätigt dasselbe innerhalb der nämlichen renzen, worin dieses allgemeine als begründet erscheint. Die pecifische Wärme der Körper kann betrachtet werden als zuammengesetzt aus der specifischen Wärme an sich und derjeigen latenten, welche durch das Volumen derselben bedingt vird, wobei aber die eigentliche specifische Wärme einen so berwiegenden Theil ausmacht, dafs ihre Wirkung nicht ganz erborgen bleiben kann. Bei den Versuchen tritt aufserdem der Jmstand hindernd ein, dafs die specifischen Wärmen alle zwichen den nämlichen Thermometergraden bestimmt werden, statt lafs man die für jeden Körper am meisten geeigneten Temperaturen wählen müfste, z. B. diejenigen, bei denen diese Körer die gröfste Analogie ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften darbieten und den vollständigsten Isomorphismus eigen. Vorzüglich ist auch die leichtere Schmelzbarkeit der Körper ınd die Art ihrer Aggregatform von sehr bedeutendem Einflufs.

Es ist oben (§. 437) ausführlich von den so sehr abweihenden Resultaten gehandelt worden, welche die Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme des *Kohlenstoffs* gegeben aben, und namentlich von den Bemühungen, welche de la Rive und Marcet darauf verwandten, diese Gröfse mit mögichster Schärfe zu ermitteln. Regnault unterwarf dieses Problem einer abermaligen genauen Untersuchung, und bestimmte die specifische Wärme folgender Substanzen.

1) Holzkohle, vorläufig mit Säure behandelt und dann stark calcinirt.

2) Thierische Kohle, durch Säuren gereinigt und dann zum Weifsglühn erhitzt. Sie enthielt eine merkliche Quantität Asche, und um sie zu binden, wurde sie mit Oel benetzt und nachher nochmals geglüht.

3) Coke aus der englischen Cannelkohle; sie enthielt 4,5 Procent Asche.

4) Coke von der Kohle aus den Minen zu Rive de Gier; sie enthielt 2,5 Procent Asche.

5) Coke aus dem Anthracit von Wallis; sie enthielt 3 Procent Asche.

6) Kohle, bereitet aus dem Anthracit von Philadelphia; sie enthielt 5,8 Procent Asche.

7) Natürlicher Graphit.

8) Graphit aus einem Hohofen, gereinigt durch Säuren.

9) Metalloidische Kohle aus einer Gasbereitungsröhre.

10) Diamant.

Die erhaltenen Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Kohlenarten	Specif. Wärme	Mittel
Thierische Kohle	0,26085	0,26085
Holzkohle	0,24150	0,24150
Coke aus der Cannelkohle . . .	0,20307	0,20307
Desgleichen aus Steinkohle . .	0,20171 0,20001	0,20085
Kohle aus Anthracit von Wallis .	0,20338 0,20007	0,20171
— — — von Philadelphia	0,20156 0,20064 0,20081	0,20100
Graphit, natürlicher	0,20187	0,20187
— aus einem Hohofen . .	0,19815 0,19590	0,19702
— aus einer Gasbereitungsröhre	0,20360	0,20360
Diamant — — — —	0,14809 0,14580 0,14614 0,14738 0,14781 0,14600	0,14687

Berücksichtigt man auch den geringen Einflufs, welchen die wenige beigemischte Asche äufsern konnte, so liefern dennoch die Versuche sehr ungleiche Werthe für die verschiedenen Ag-

egatformen der Kohle. Die specifische Wärme zeigt sich am öfsten bei der Holzkohle und der thierischen Kohle, was zum heil ihrer Porosität zuzuschreiben ist; die übrigen Kohlenarten ben sehr nahe übereinstimmende Gröfsen, am meisten aber eicht der Diamant ab. Man ersieht hieraus deutlich, dafs die ecifische Wärme der Kohle sehr abhängig von der Aggregat-rm, und der Dichtigkeit des Gefüges umgekehrt proportional t[1]. Regnault's Hypothese, wonach der Kohlenstoff in sei-n Verbindungen eine andere specifische Wärme haben soll, s wenn er für sich allein besteht, dürfte schwerlich allgemei-n Beifall finden. *M.*

Wärmesammler.

Feuersammler, Condensator der Wär-e; *Collector Caloris;* **Collecteur du Feu.**

Diesen Namen hat ein Apparat erhalten, welcher nach be-annten Principien construirt, jedoch von sehr untergeordnetem utzen ist, seinem Erfinder aber Veranlassung zur Aufstellung er abentheuerlichsten Hypothesen gegeben hat. Man wufste seit en ältesten Zeiten, dafs die Sonnenstrahlen in dunklen Körpern, orauf sie fallen, eine sehr grofse Wärme erzeugen (§. 54), nd um die Gröfse dieser Wirkung zu messen, stellte de Saus-ure (§. 50) seine bekannten Versuche mit dem *Heliothermo-eter* an, aus denen sich ergab, dafs durch Concentrirung der onnenstrahlen auch ohne Sammlungslinsen nicht blofs der Sie-epunct des Wassers erreicht, sondern eine noch 9°,5 C. höhere itze erzeugt werden könne. Als dieses im Jahre 1783 durch riefe bekannt geworden war, machte du Carla[2] die Beschrei-ung des genannten Apparates, seine damit angestellten Versu-e und die Folgerungen bekannt, die er daraus ableiten zu kön-n glaubte. Jener besteht aus einer beliebigen Anzahl gläserner mpanen oder Cylinder, die so dünn und durchsichtig wie öglich seyn sollen. Ihre Durchmesser und ihre Höhen sollen r jede folgende um 3 Linien wachsen, und sie werden über nen hohlen, dünnen, schwarz gefärbten abgestumpften Kegel ch ihrer zunehmenden Gröfse über einander so gestürzt, dafs vischen ihnen ein dünner, mit Luft erfüllter Zwischenraum eibt. Die obere kleine Grundfläche des Kegels hat einen um Linien kleineren Durchmesser, als die kleinste Campane, die tere grofse desselben übertrifft den der gröfsten um ebenso

1 Dürfen die hier gegebenen Resultate als hinlänglich genau gelten, liefse sich aus den Wärmecapacitäten und den genau bestimmten Dich-keiten vielleicht das Gesetz der Anhäufung der Wärme zwischen den lecülen zum Abstande der Molecüle unter einander finden.

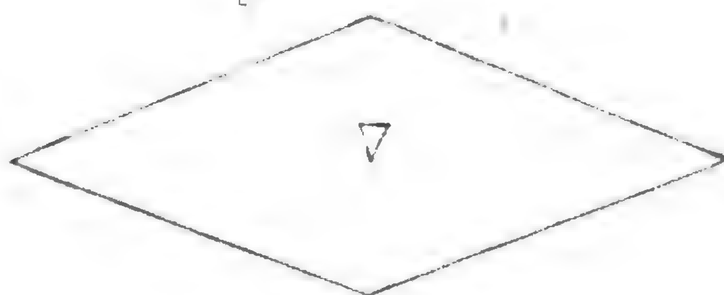
2 Journal de Paris 1784. N. 81. Journal général de France. 1784. Mai. Feu complet. à Paris 1785. 8. Lichtenberg's Magazin für d. Neue-aus d. Phys. u. Naturgesch. Th. II. St. 4. S. 118.

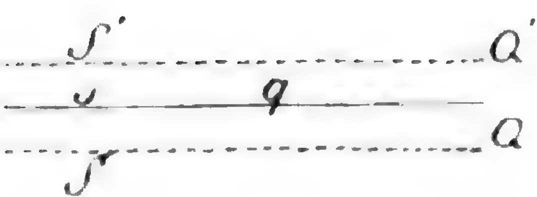
viel, wodurch dann die engen Zwischenräume zwischen den üb einander gestülpten Campanen leicht erhalten werden. Aufs diesen wesentlichen Theilen gehören zum Apparate noch Kap pen, Deckel, eine auf der kleineren Grundfläche des Kege liegende Halbkugel, ein aus Planspiegeln zusammengesetzt Büffon'scher Hohlspiegel u. s. w. In der Richtung von No nach Süd geht durch das ganze System der Campanen eine fei Gallerie, die bis an die massive Halbkugel reicht, und möglich viele Oeffnungen hat, um diejenigen Körper hinzulegen, a welche die erzeugte Wärme einwirken soll.

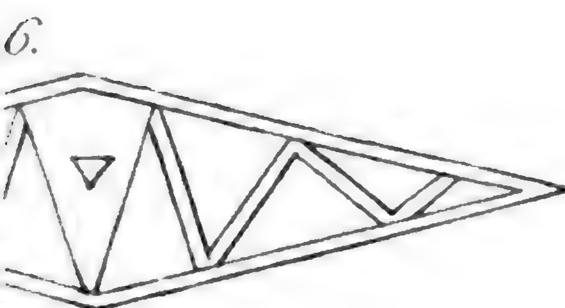
Dem hellen Sonnenschein eines Frühlingstages ausgesetz soll dieser Apparat eine solche Menge Wärme sammeln, dal dadurch ein Kessel voll Eis von mehr als einer Toise im Durch messer geschmolzen werde, ein Resultat, welches gewifs nich aus einer scharfen Berechnung hervorgegangen ist. Er soll fer ner nicht blofs dazu dienen, die Wärme der Sonnenstrahlen zu sammeln, sondern auch die eines hellen Küchenfeuers, und hier durch eine Ersparung von Brennmaterial erzielt werden. Um dieses zu erreichen, giebt du Carla noch verschiedene Modi ficationen seines Apparates an, die im Allgemeinen darauf hin auskommen, dafs man die strahlende Wärme auf ein System von abwechselnd dünnen und dichten Körpern fallen läfst.

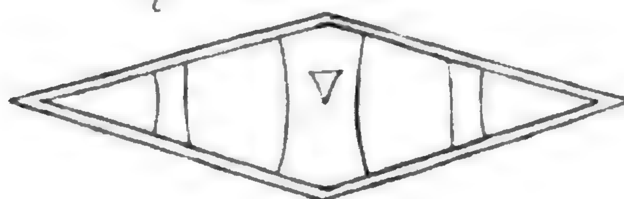
Die kaum verständliche Theorie dieser Erscheinungen be ruht hauptsächlich auf dem Satze, dafs sich die Wärme an Flächen, wo sich zwei verschiedene Körper berühren, im Ver hältnifs der Dichten dieser Körper mittheilen soll. Da aber da Glas ungefähr 2000mal dichter ist, als die Luft, so läfst sich annehmen, dafs bei gleicher Temperatur das Glas in gleichem Raume eine 2000mal gröfsere Wärmemenge, als die Luft ent halte. Wenn sich also Wärme an einer Fläche mittheilt, wo Glas und Luft sich berühren, so theilt das Glas der Luft 2000 Grade mit, indem es nur einen einzigen verliert, die Luft hin gegen theilt dem Glase nur $\frac{1}{2000}$stel Grad mit, indem sie einen Grad verliert. Hiernach nimmt der Apparat so viele Wärme an, als wenn er ganz aus Glas bestände, weil seine ganze Masse aus 2000 Theilen Glas und nur einem Theil Luft besteht, ver liert aber nur so viel, als wenn er ganz aus Luft bestände weil er rücksichtlich der Räume zwischen den Campanen aus Luft besteht. Seine Mittheilung an die äufsere Luft wird also 2000mal geringer seyn, als wenn er ganz aus Luft bestände, oder, was dasselbe ist, die abwechselnden Glocken von Glas und Luft berühren sich in 2000mal wenigern Puncten, als wenn der ganze Apparat aus massivem Glase bestände, und die gesammte Wärmemenge hat also 2000mal weniger Wege, sich von der Mitte nach der Oberfläche fortzupflanzen. M.

Druck von C. P. Melzer in Leipzig.


Fig. 3.




6.


Fig. 7.

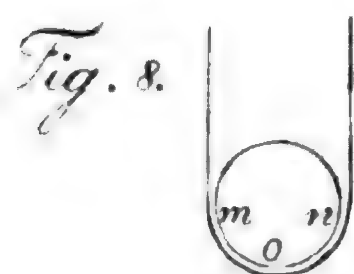


Fig. 8.

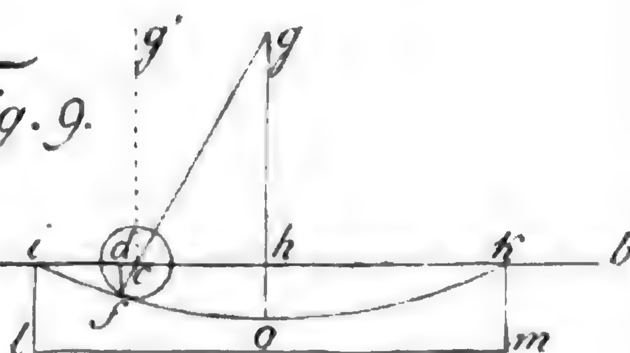


Fig. 9.

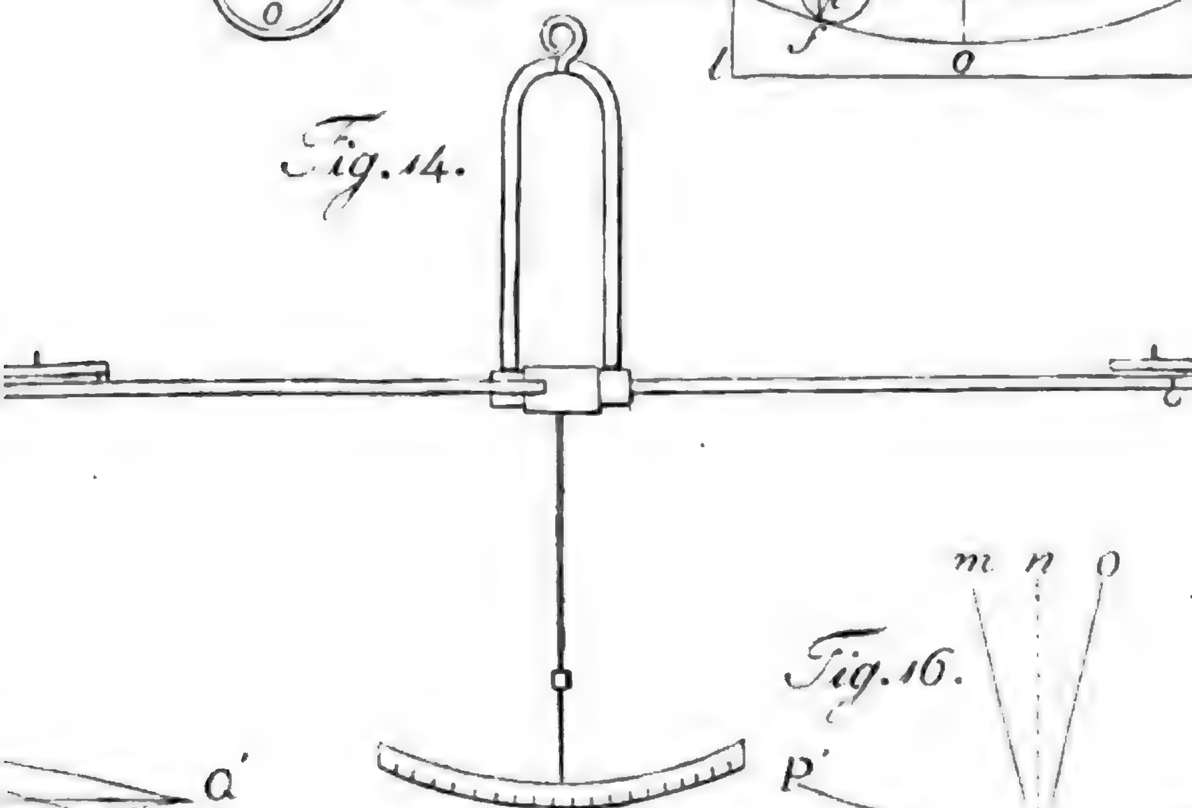


Fig. 14.



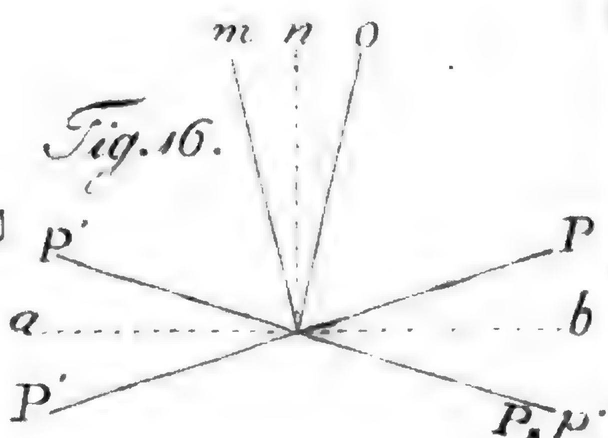
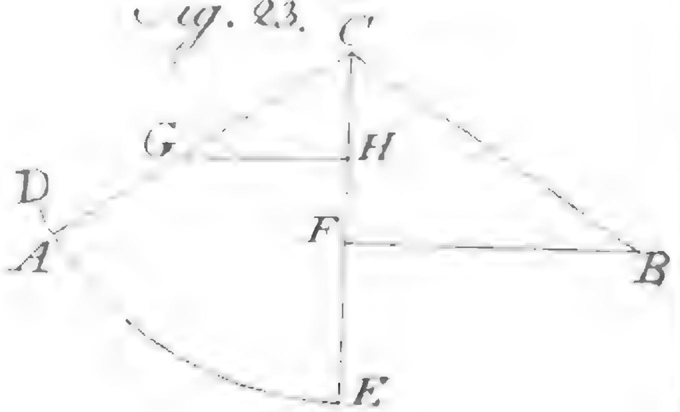
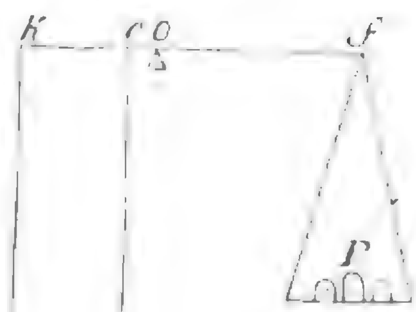


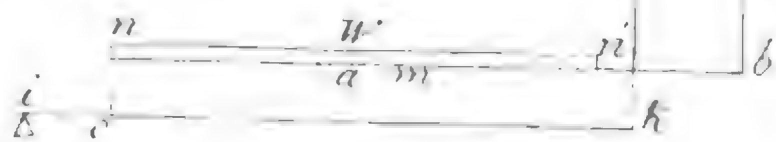
Fig. 16.

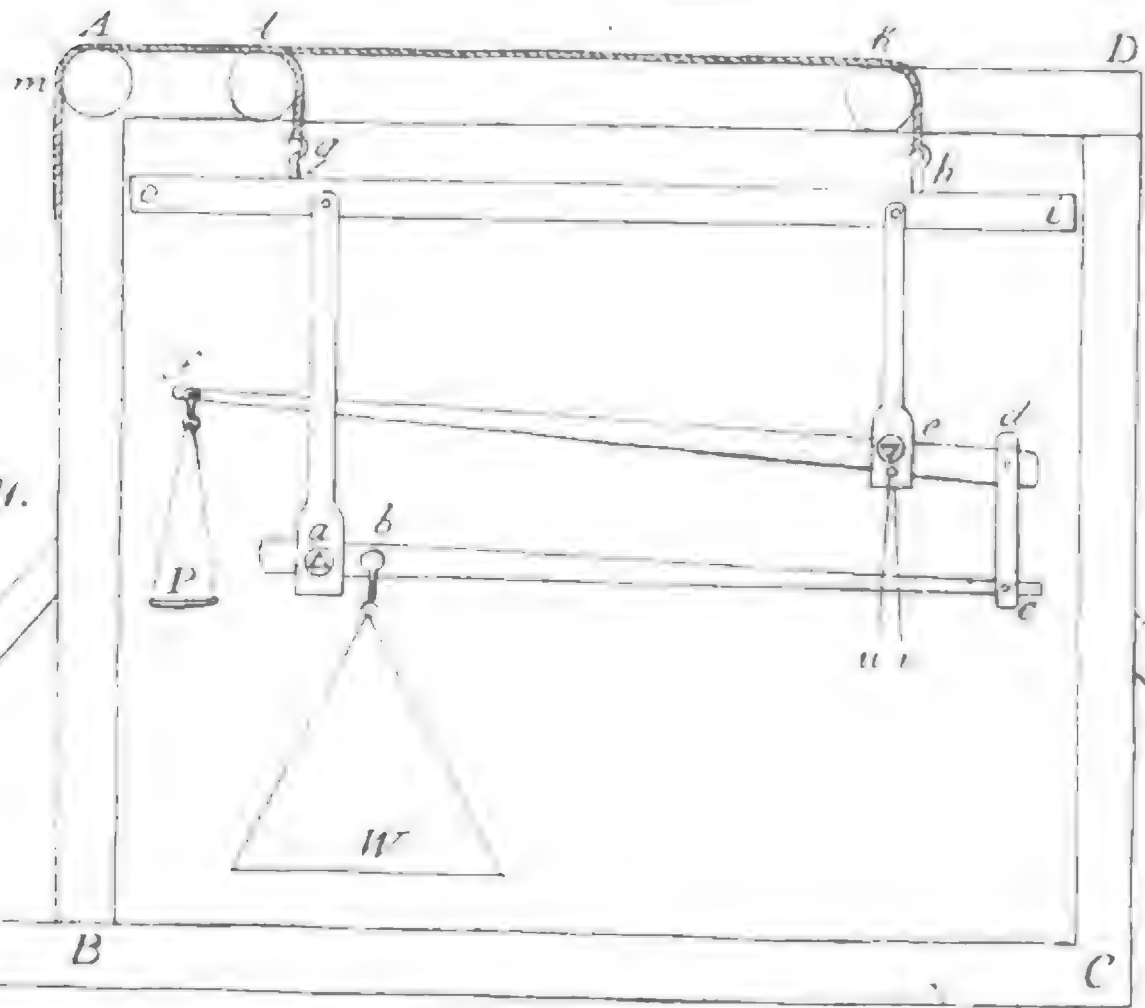
Ant. Karcher sc.

Tab. II.



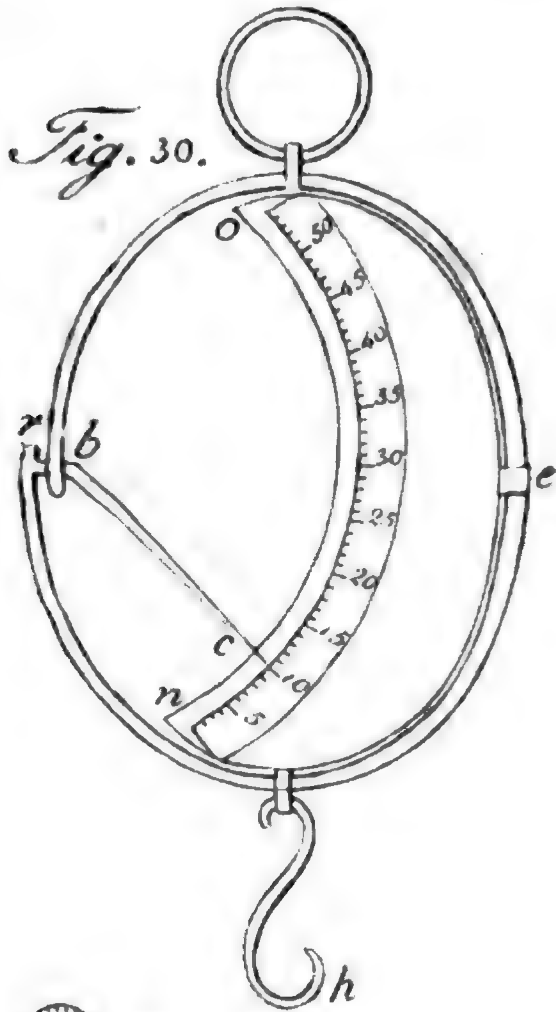


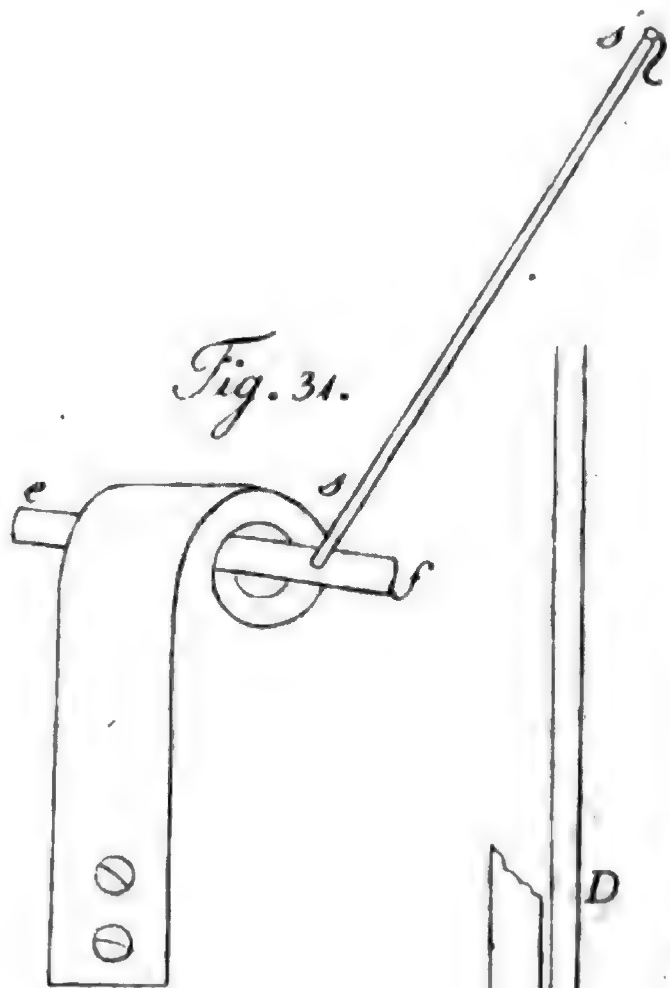


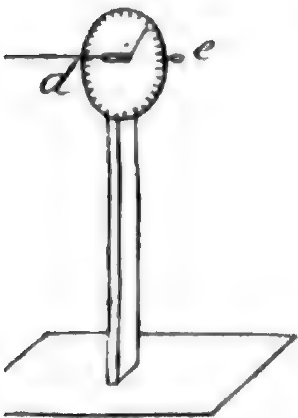


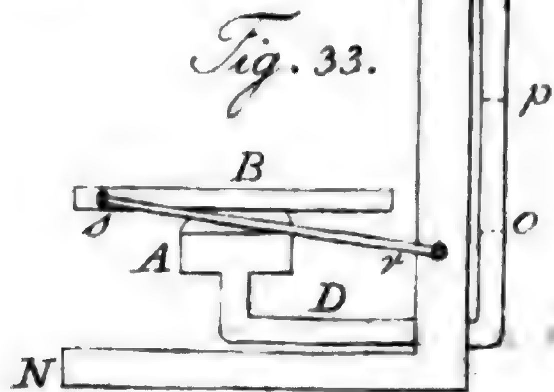
Ant. Jarcher sc.

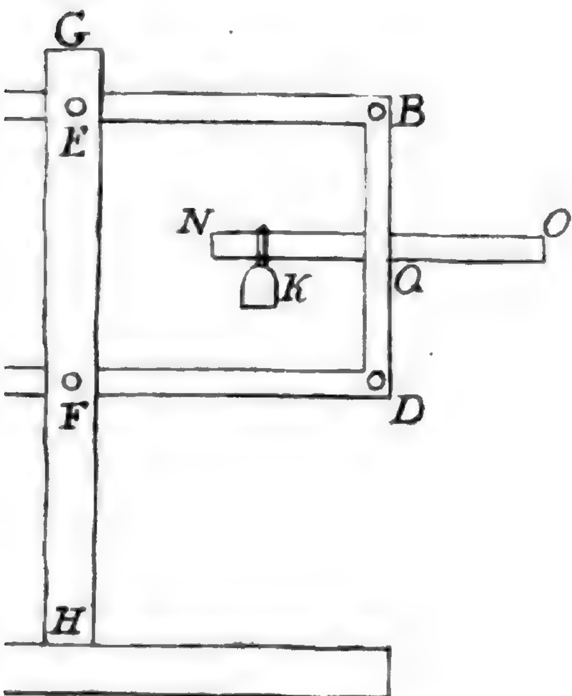
Tab. III.

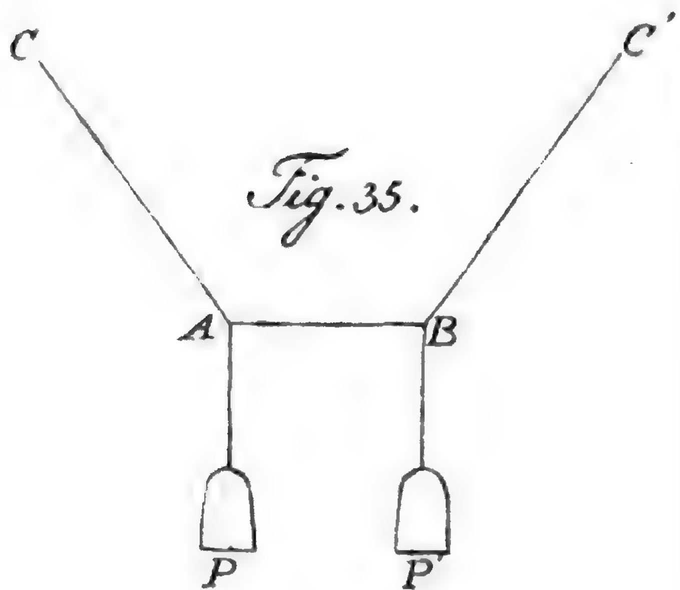




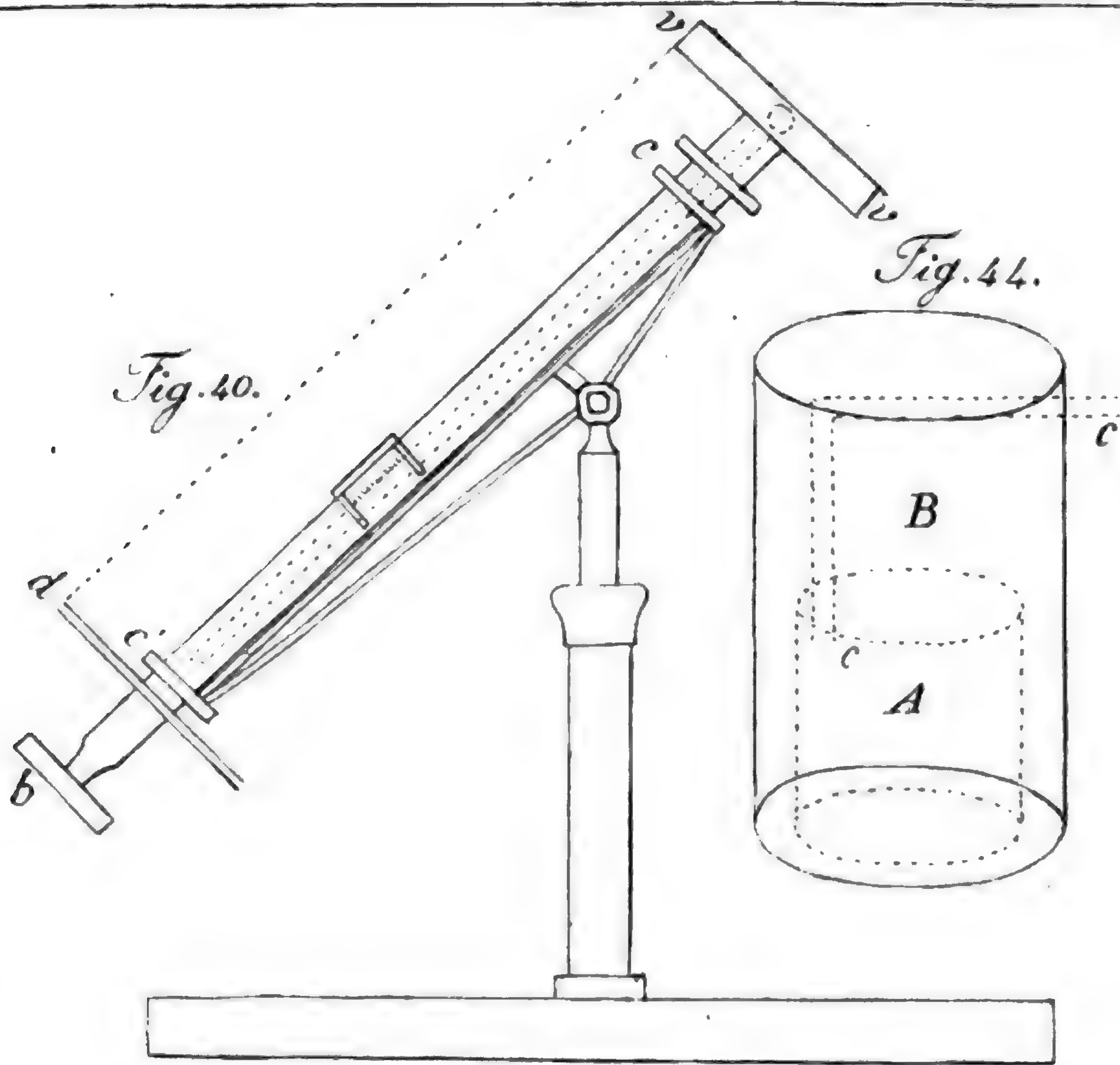


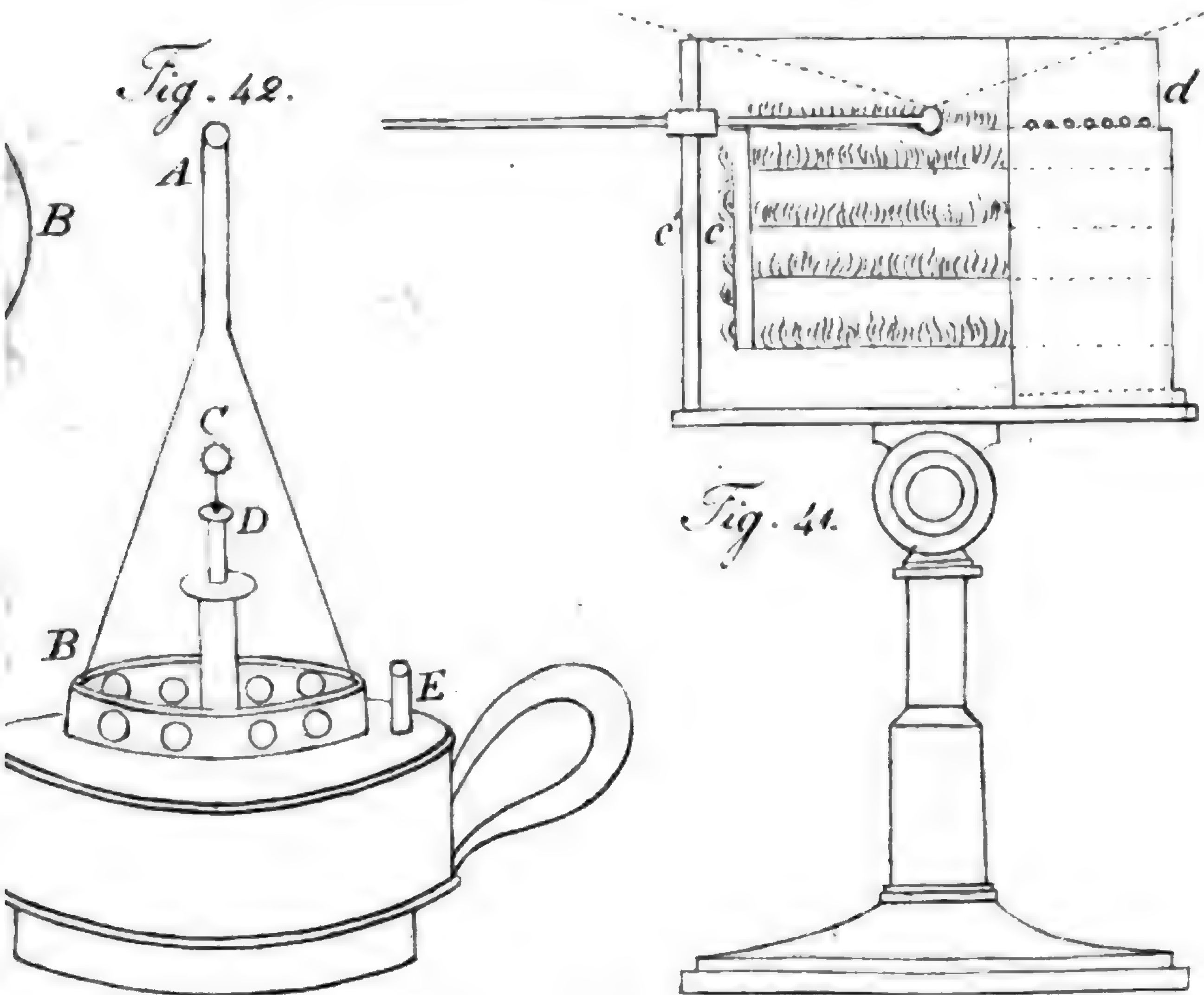




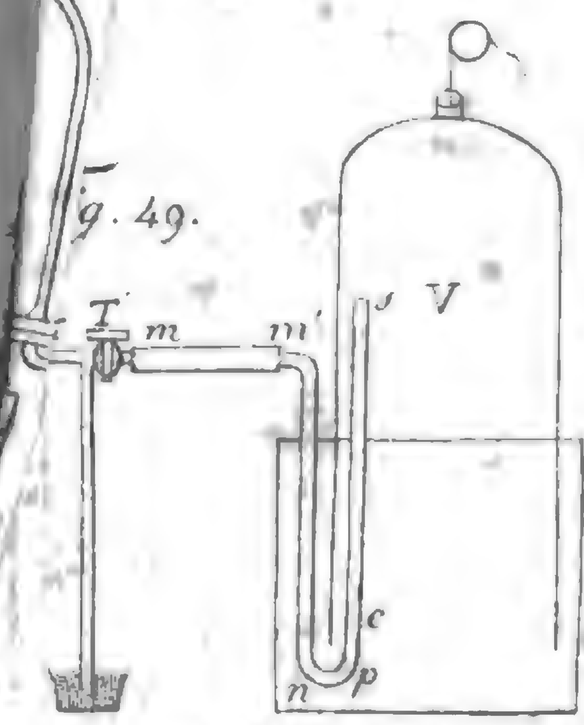


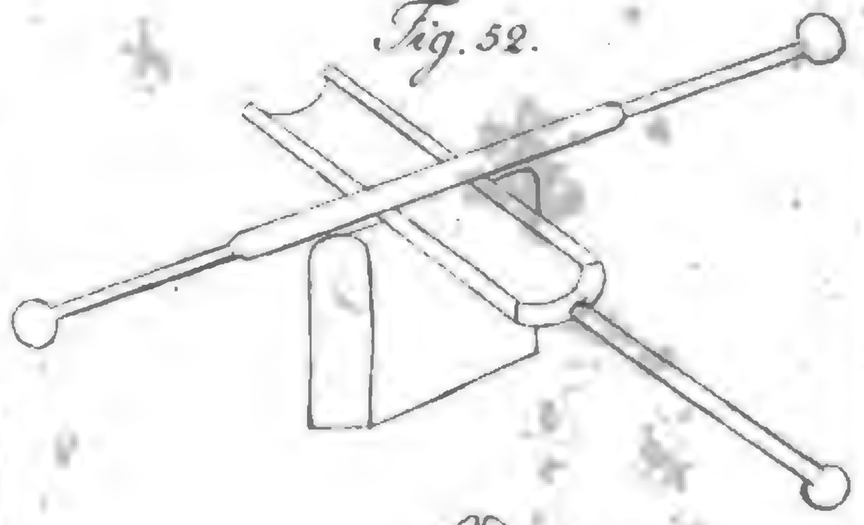
Ant. Karcher sc.

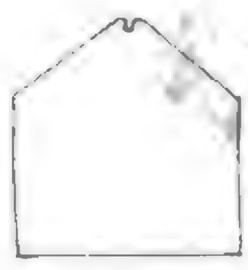


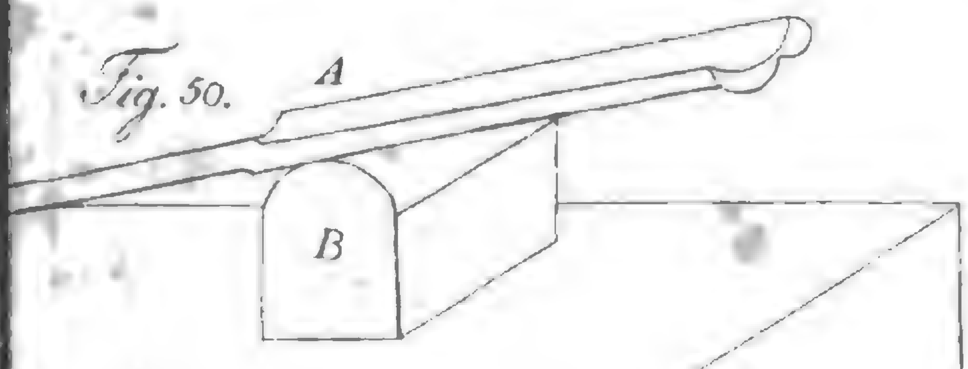


Ant. Karcher sc.

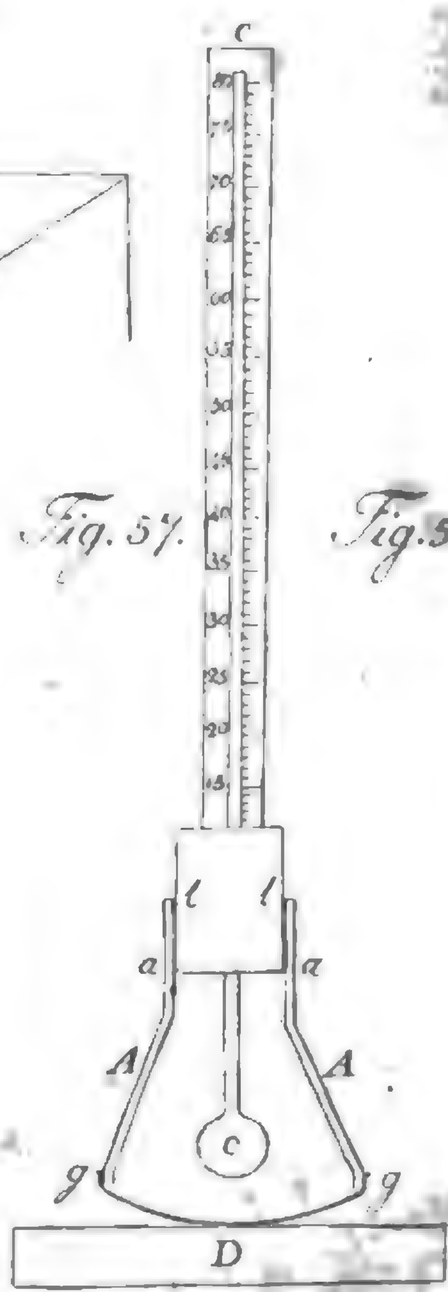


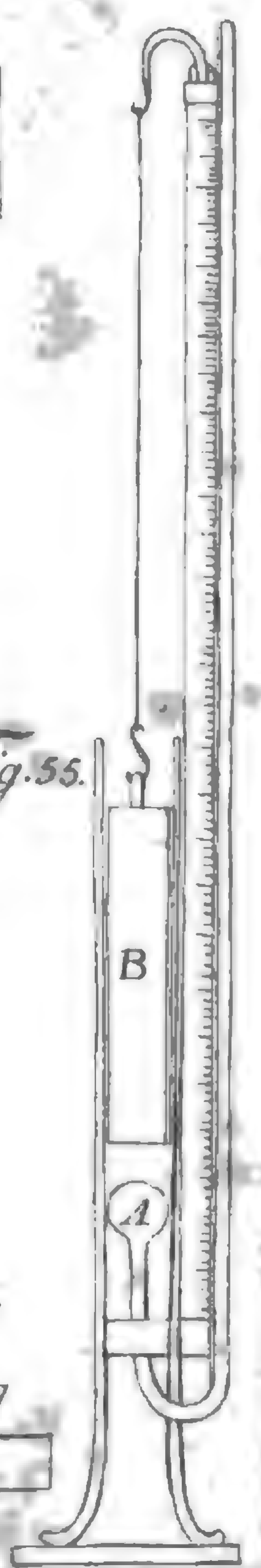


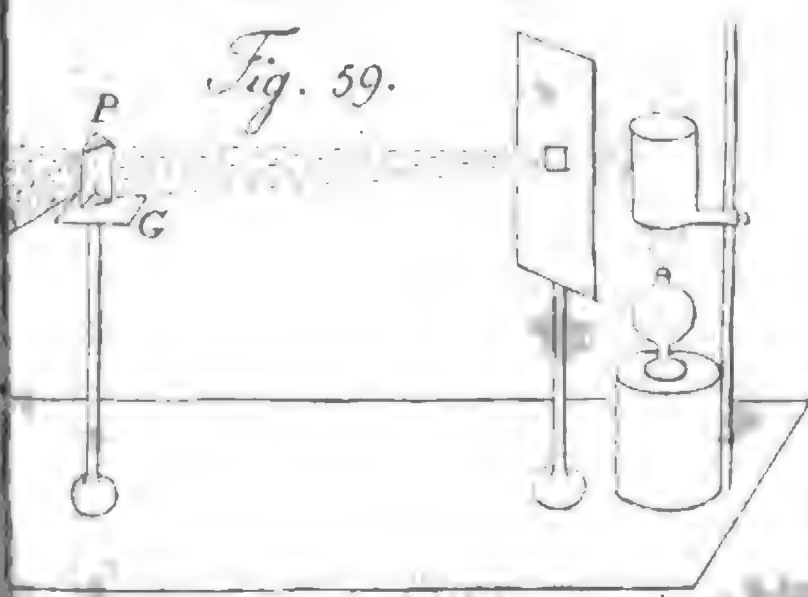




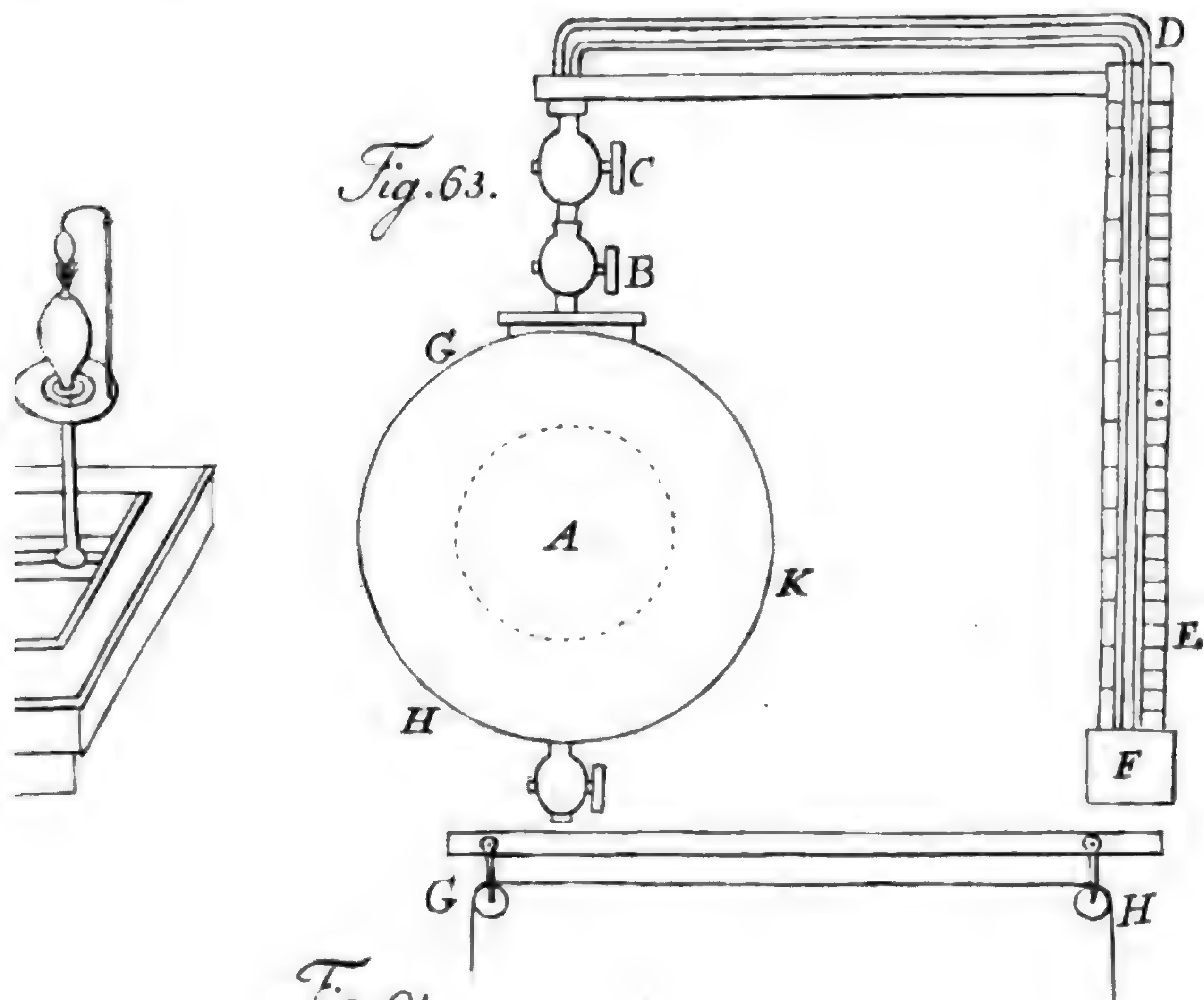
b a

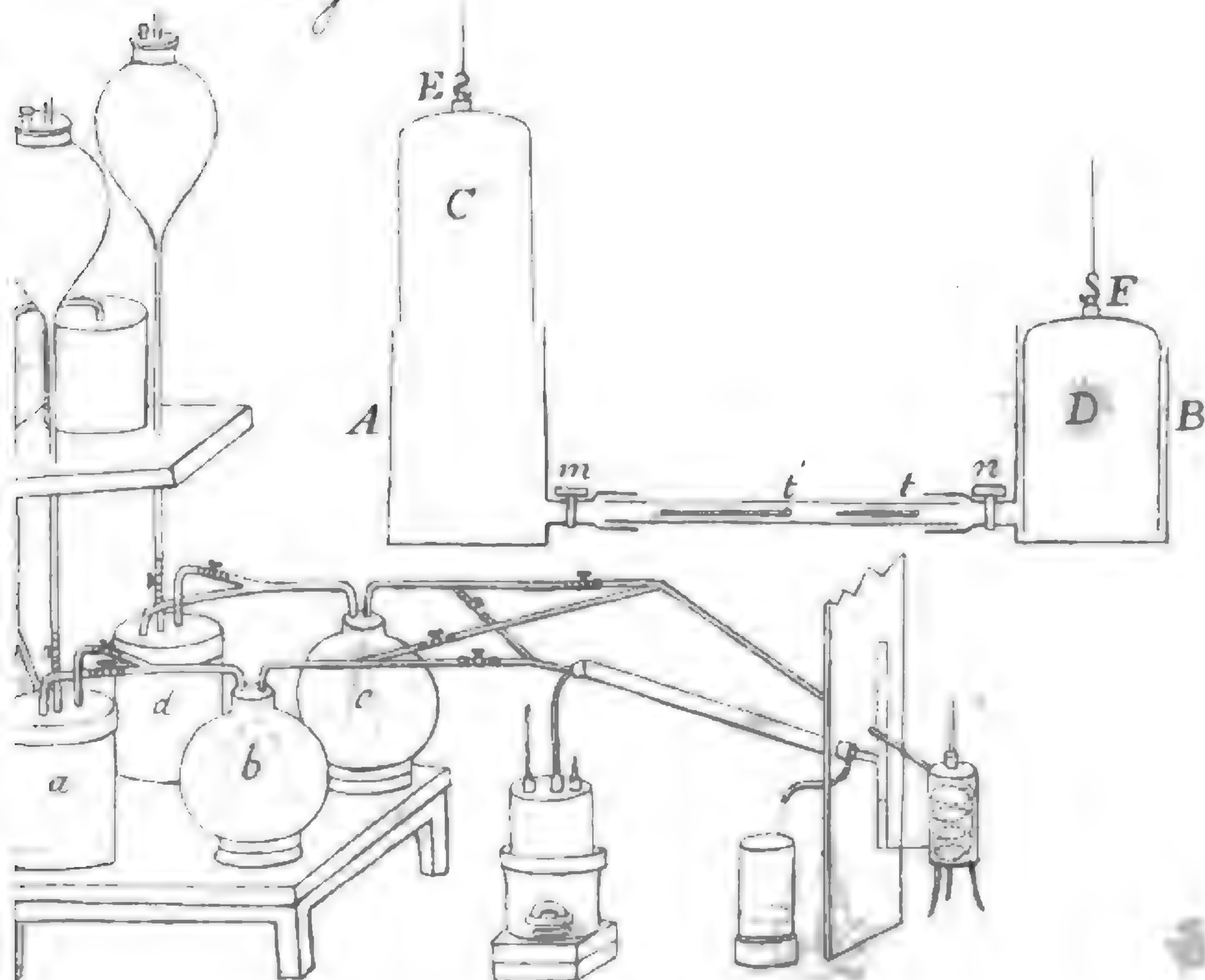






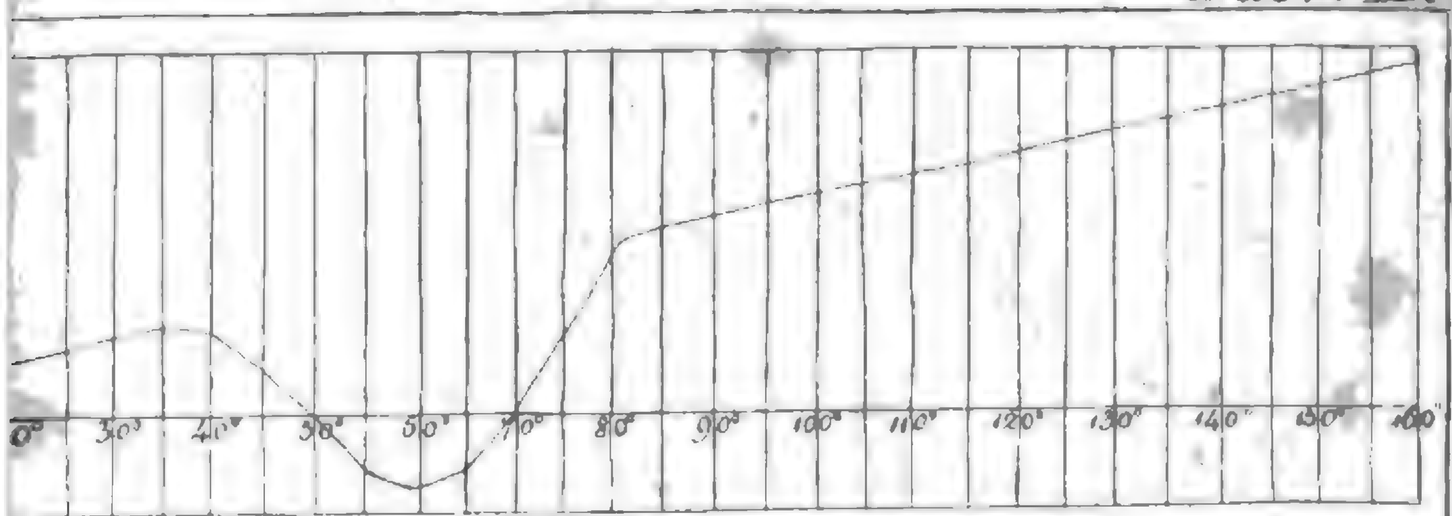
Ant. Karcher sc.

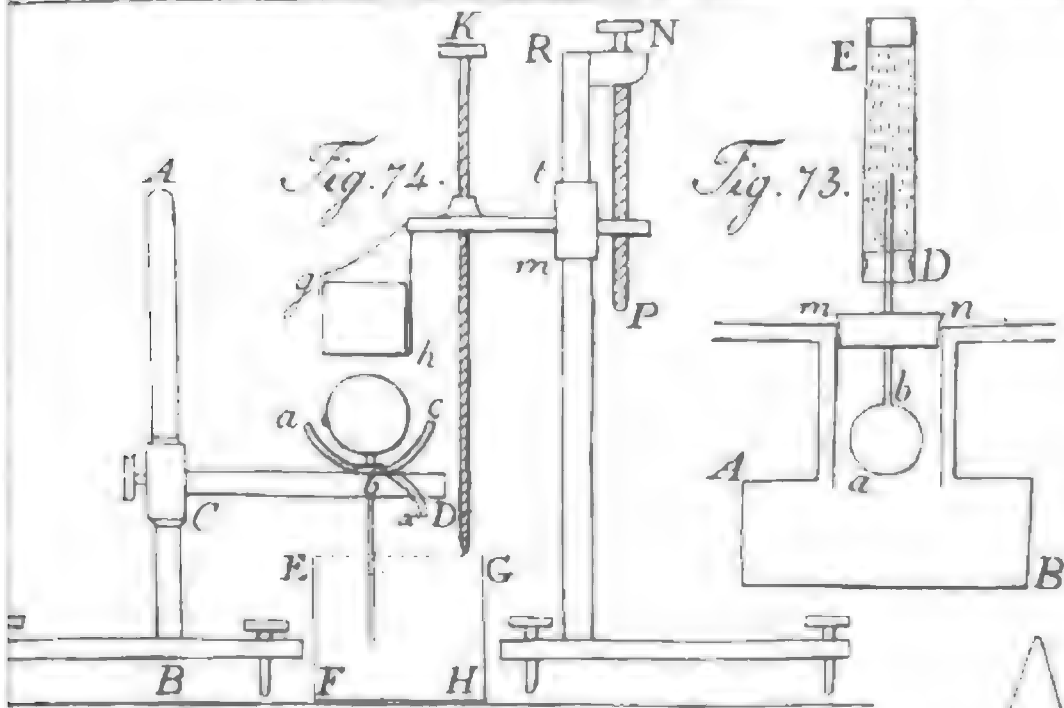


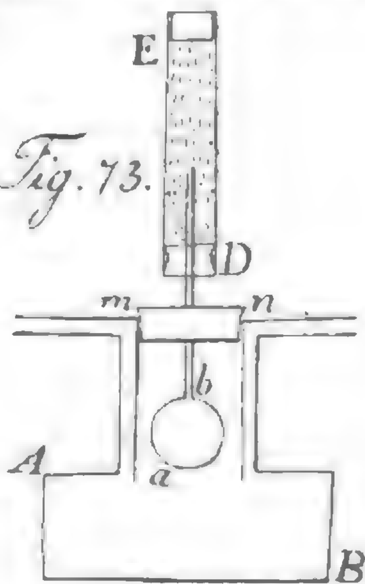


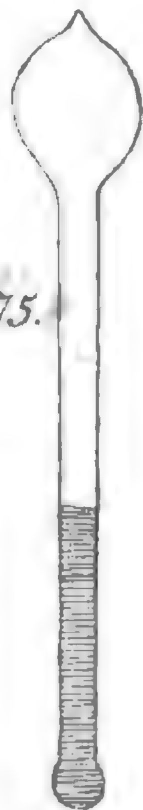
Ant. Karcher sc.

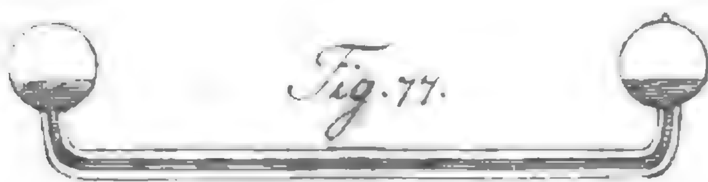
Tab. VII.

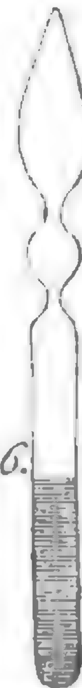


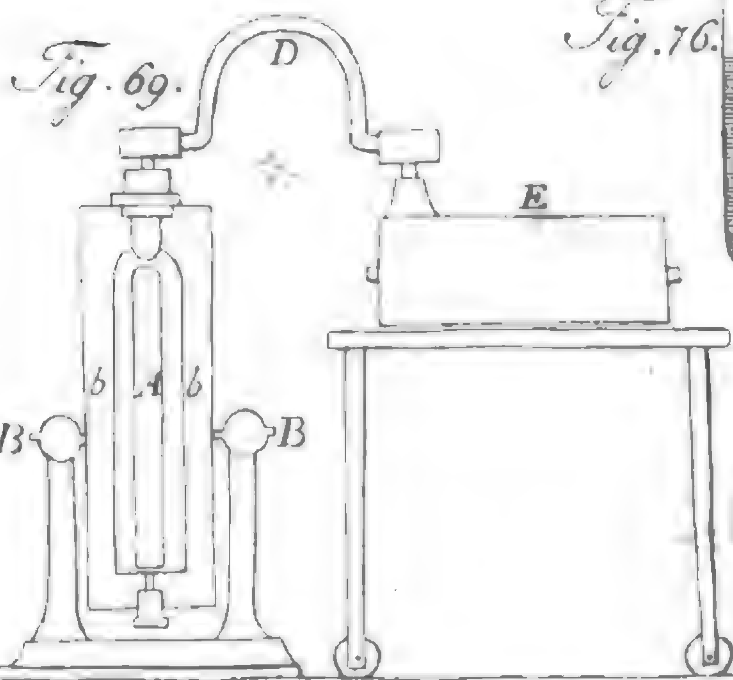


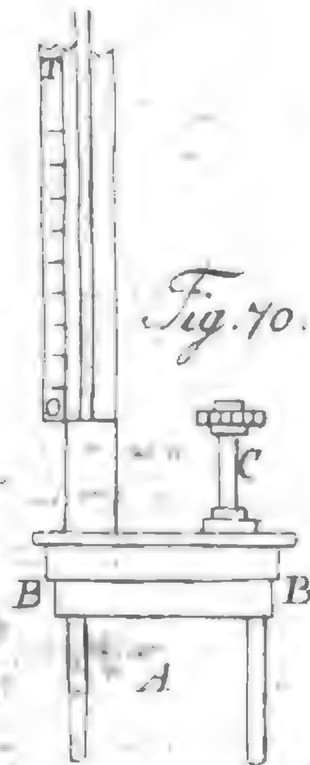






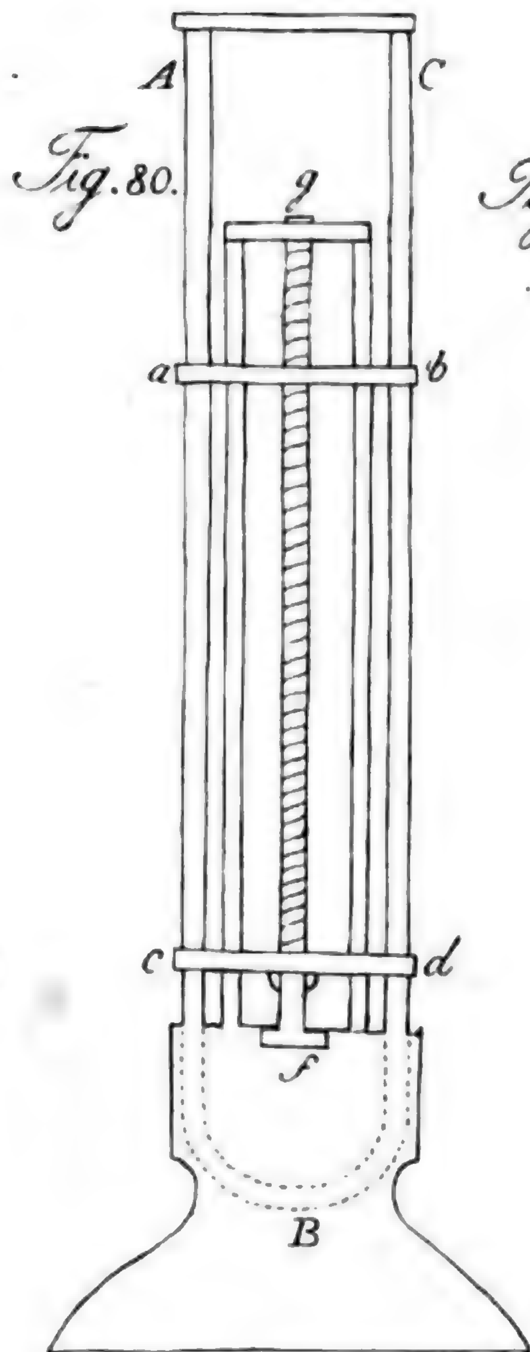


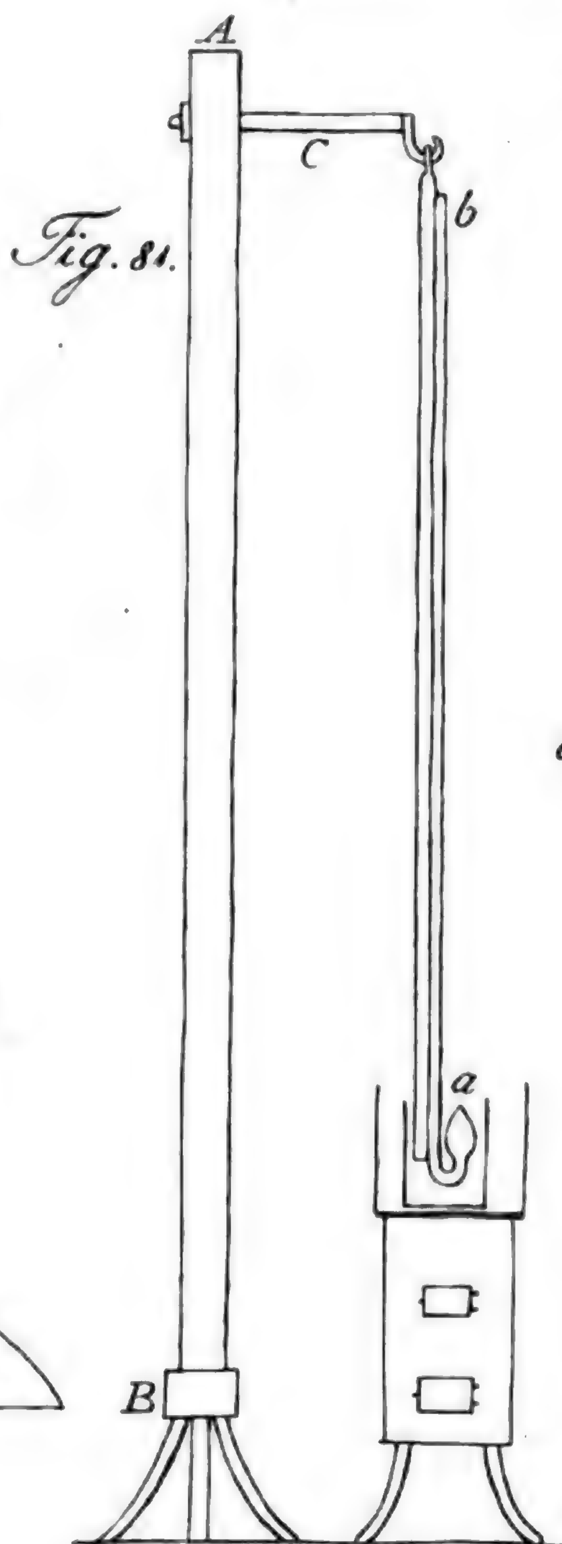


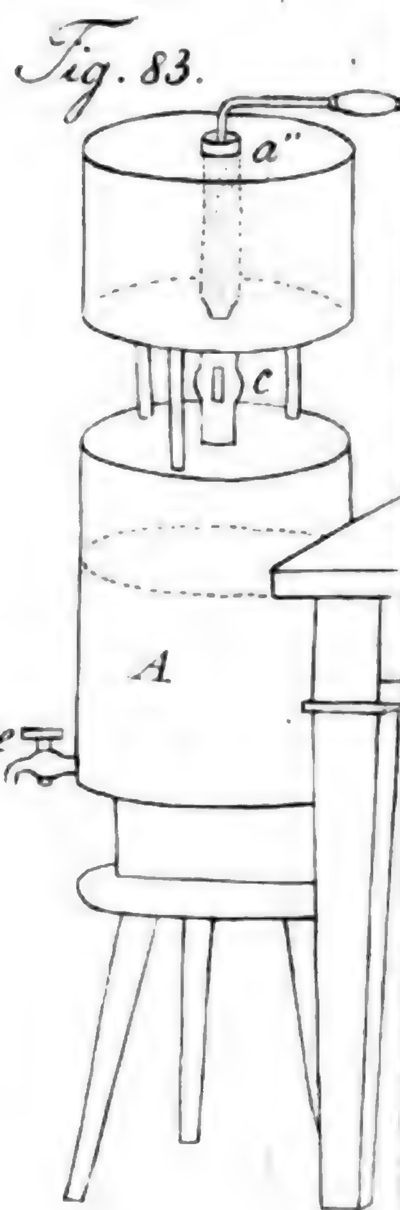


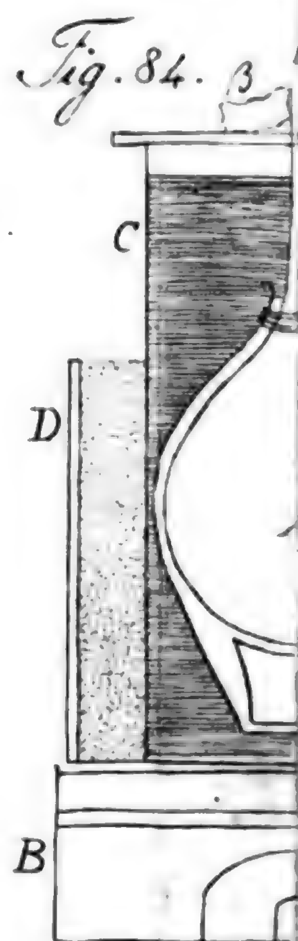
Ant. Karcher sc.

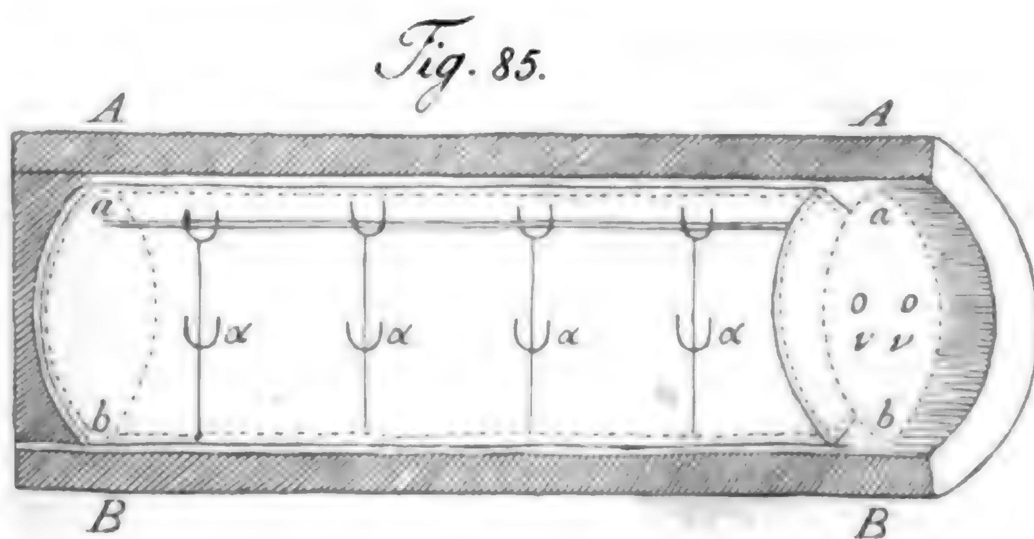
Ant. Karcher sc.


Fig. 80.
A
C
g
a
b
c
d
f
B

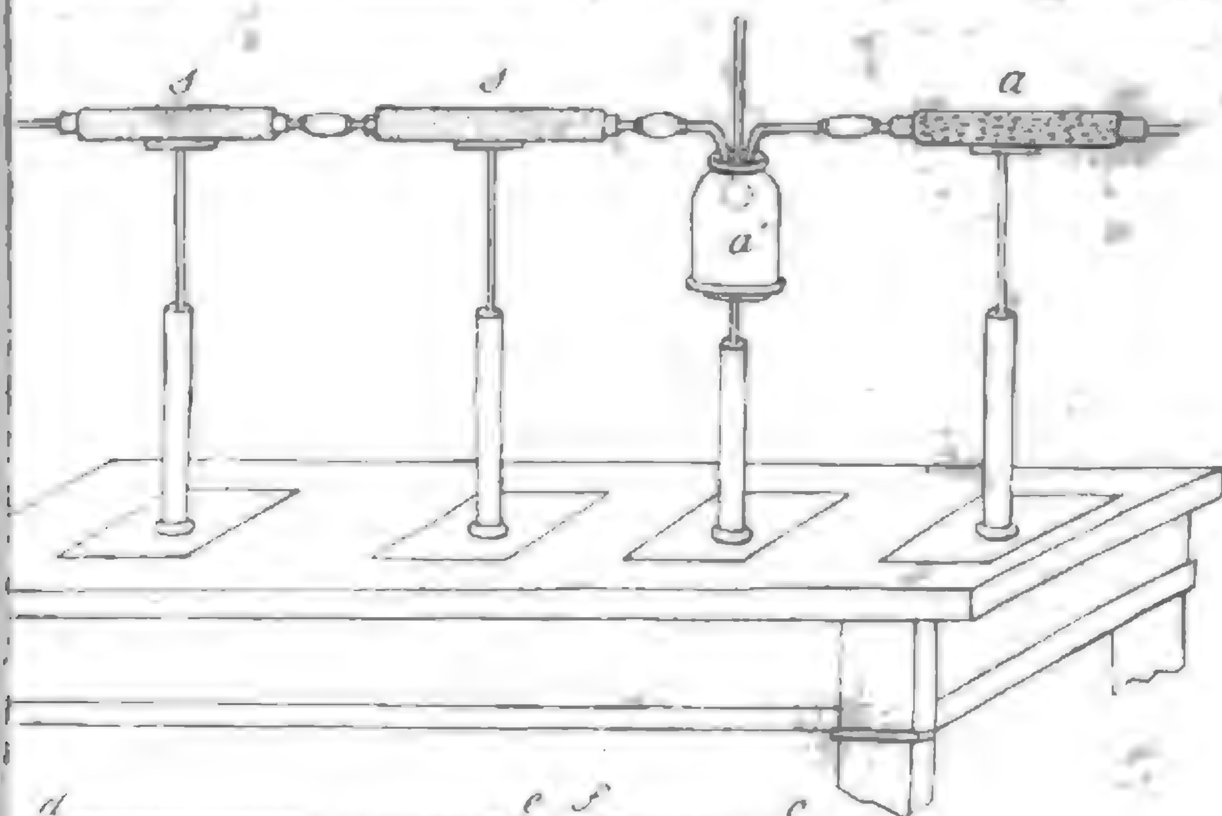

Fig. 81.
A
C
b
a
B

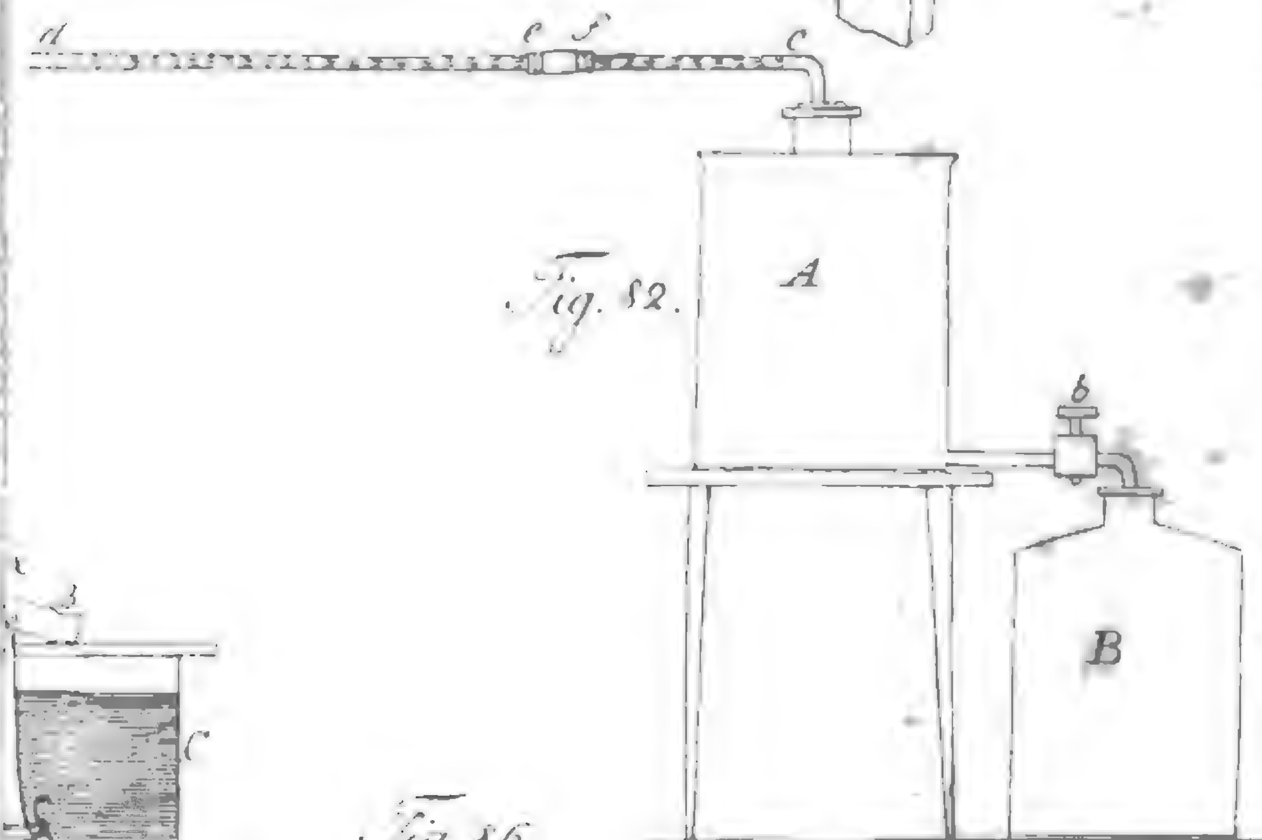

Fig. 83.
a''
c
A
e

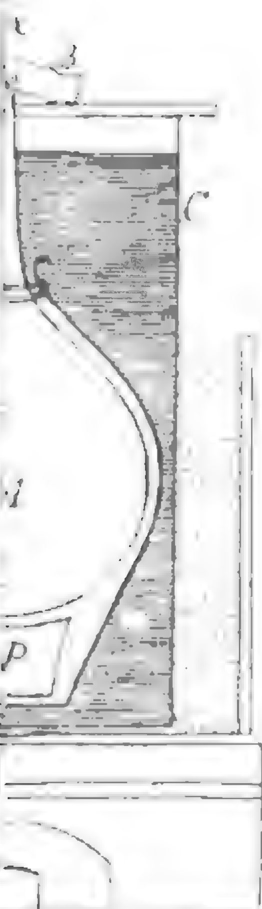

Fig. 84.
β
C
D
B

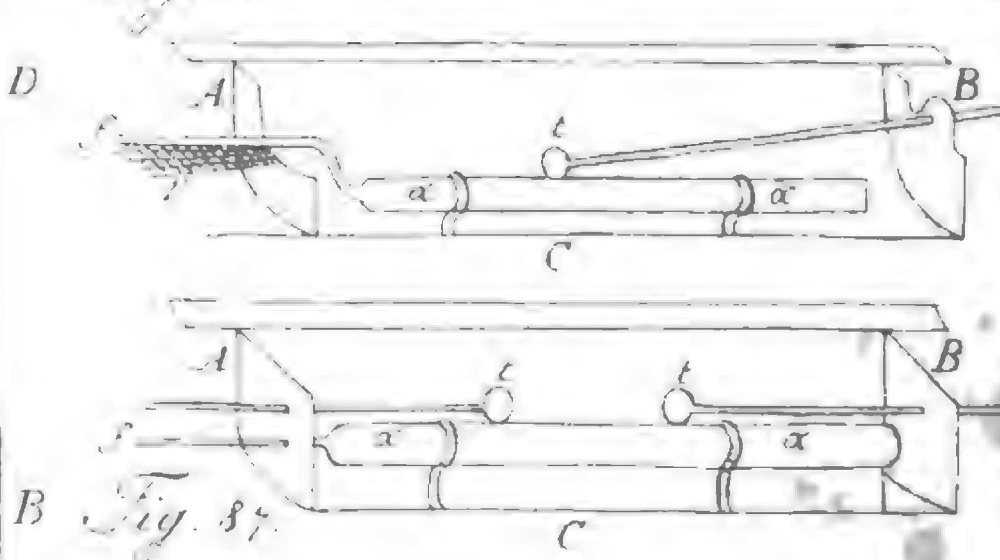

Fig. 85.
A
A
a
a
α
α
α
α
o o
v v
b
b
B
B

Tab. IX









Ant. Karcher sc.